

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

Optimalizace obsluhy silniční sítě

Road Network Operation Optimization

Student:

Bc. David Černý

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Černý**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie  
Specializace: 30 Technologie dopravy  
Téma: **Optimalizace obsluhy silniční sítě**  
**Road Network Operation Optimization**

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: S využitím metod operační analýzy prověřit možnosti úspor v neproduktivně ujeté vzdálenosti při obsluze vybrané části silniční sítě.

Osnova práce:

1. Úvod.
2. Charakteristika problému a analýza současného stavu.
3. Teoretická východiska řešení - metody a algoritmy pro řešení úlohy.
4. Příprava podkladů pro optimalizační výpočet a jeho realizace.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČERNÝ, J.; KLUVÁNEK, P. Základy matematické teorie dopravy. Bratislava: VEDA. 1990. 279 s. ISBN 80-224-0099-8  
PALŮCH, S.; PEŠKO, Š. Kvantitativní metody v logistice. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině. 2006. 185 s. ISBN 80-8070-636-0

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. května 2011

.....

Bc. David Černý

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb.- autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB–TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 ods. 3)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2011

.....

Bc. David Černý

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

ČERNÝ, D. Optimalizace obsluhy silniční sítě. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 72 s. Diplomová práce, vedoucí Teichmann, D.

Předložená diplomová práce se zabývá kontrolou optimality současného stavu při provádění zimní údržby v Olomouckém kraji. Práci lze rozdělit na 3 na sebe navazující části. V první části je popsán legislativní rámec zimní údržby a všeobecný popis. Druhá část je věnována vyhledání vhodného matematického aparátu. Závěrečná část diplomové práce je věnována prováděným experimentům a jejich vyhodnocení.

## **ANNOTATION OF THESIS**

ČERNÝ, D. Road Network Operation Optimization. Ostrava: Institute of Transport, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava, 2011, 72 p. Thesis, head: Teichmann, D.

This thesis deals with the control of optimality of the current condition at the implementation of the winter maintenance in Olomouc region. The work can be divided into three consequential parts. The first part describes the legislative framework for the winter maintenance and general description of the current condition of the maintenance. The second part is devoted to finding an appropriate mathematical apparatus. The final part of the thesis is devoted to experiments carried out and their evaluation.

## Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	7
1 ÚVOD .....	8
2 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA PROBLÉMU.....	9
2.1 Obecná východiska řešení problému .....	9
2.2 Kategorie důležitosti pozemních komunikací pro potřeby zimní údržby .....	11
2.3 Časové lhůty pro provedení údržby .....	13
2.4 Kalamitní stav .....	14
2.5 Správa silnic Olomouckého kraje .....	14
2.6 Organizace provádění zimní údržby .....	18
2.7 Posypové materiály .....	21
2.8. Technologie práce posypového vozu .....	25
3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA ŘEŠENÍ .....	28
3.1. Obecný popis a stanovení podmínek .....	28
3.2 Obsluha úseků sítí .....	31
3.3 Fleuryho algoritmus .....	33
3.4 Úloha o vyhledání minimální párování řešená matematickým modelem .....	35
3.5 Floydův algoritmus: .....	37
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE .....	40
4.1. Kapacitní výpočty .....	40
4.2 Experiment č. 1 – okruh ST2 CH-V .....	42
4.3 Experiment č. 2 – okruh PV1 CH-V .....	55
5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ.....	69
6 ZÁVĚR .....	70
SEZNAM PŘÍLOH.....	72

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

MDČR	Ministerstvo dopravy České republiky
MDS	Ministerstvo dopravy a spojů České Republiky
MVČR	Ministerstvo vnitra České republiky
PZÚ	Plán zimní údržby
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
SSOK	Správa silnic Olomouckého kraje
SÚS	Správa a údržba silnic

# 1 ÚVOD

Předložená práce se zabývá obsluhou silniční sítě v Olomouckém kraji při zabezpečování zimní údržby. Věnuje se optimalizaci tras údržbových vozidel, s cílem v maximální možné míře redukovat neproduktivně ujeté kilometry při obsluze vybraných segmentů sítě. Že takovéto neproduktivně najeté kilometry mohou nastat, bude patrné ze současného stavu obsluhy silniční sítě. Kritérium minimalizace neproduktivně najetých kilometrů však není při optimalizaci tras jediným kritériem či omezením. Navrhování plánu zimní údržby dopravní sítě je totiž rámcově řešeno platnou legislativou, která stanoví časové limity pro provedení zimní údržby u jednotlivých kategorií pozemních komunikací.

Jednotlivé trasy údržbových vozidel a celkový průběh zimní údržby pozemních komunikací se řídí předem připraveným plánem, který však může být nevhodně navržen. Jak již bylo uvedeno, nevhodně navržený plán zimní údržby může mít za následek kromě zbytečně vysokého nájezdu neproduktivně ujetých kilometrů, také nesplnění časových lhůt stanovených legislativou.

Pro současný stav zimní údržby soustavy pozemních komunikací je charakteristické, že síť pozemních komunikací není obsluhována jako celek, ale je dekomponována do určitých podsítí, což do jisté míry optimalizaci údržbových zásahů usnadňuje.

Problematika posuzování optimality navrženého způsobu zimní údržby bude tedy řešena ve vybraných podsítích v působnosti zvolené správy silnic – v případě předložené práce v působnosti Správy silnic Olomouckého kraje.

Cílem této práce tedy bude prověřit současný stav v provádění obsluhy silniční sítě a pokud se prokáže, že současný stav je možno zlepšit, bude se práce zabývat také otázkami tohoto zlepšení.



## **2 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA PROBLÉMU**

### **2.1 Obecná východiska řešení problému**

Provoz na pozemních komunikacích je problematika dotýkající se každodenního života snad každého člověka. Právě z uvedeného důvodu je zapotřebí pozemní komunikace náležitě a zejména souvisle udržovat v provozuschopném stavu neohrožujícím jak vlastní provoz na nich samotných, tak i v jejich přilehlém okolí. Např. v jarních měsících je zapotřebí provést opravy mechanického poškození pozemních komunikací a úklidu po zimním období. Během celého roku se musí udržovat zeleň v okolí pozemních komunikací, zejména za účelem zajištění správného rozhledu a tedy zajištění bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích, v horkých obdobích se pak jedná také o snižování prašnosti při provozu. Během podzimních a zimních měsíců pak dochází vlivem působení povětrnostních vlivů, charakteristických pro toto období, ke snížení sjízdnosti pozemních komunikací. Tento stav je také zapotřebí eliminovat, a proto je prováděna zimní údržba.

Z hlediska předložené práce je klíčovým problémem zimní údržba. Jak již bylo uvedeno, dochází během podzimních měsíců a v zimním období často vlivem působení povětrnostních vlivů ke snížení sjízdnosti pozemních komunikací. Povětrnostními situacemi a jejich důsledky, které mohou podstatně zhoršit nebo přerušit sjízdnost, jsou vánice a intenzivní dlouhodobé sněžení, vznik souvislé námrazy, mlhy, oblevy, mrznoucí déšť, vichřice, povodně a přívalové vody a jiné obdobné povětrnostní situace a jejich důsledky.

Tyto jevy snižují bezpečnost provozu na pozemních komunikacích, a proto existuje oprávněná snaha jejich následky v maximální možné míře zmírňovat. Jako nástroj pro toto zmírňování slouží zimní údržba. Zimní údržba se provádí nejen na pozemních komunikacích, ale také na chodnících, případně jiných místech, kde dochází ke zvýšenému pohybu osob. Za případné škody, vzniklé nedostatečným zajištěním schůdnosti, případně sjízdnosti je zodpovědný vlastník chodníku, pozemní komunikace, případně jiné plochy, na které se škoda stala.

Vlastníka pozemní komunikace stanovuje zákon č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích. Zákon o pozemních komunikacích mimo jiné ukládá vlastníkově pozemní komunikace zmírňovat následky vlivu povětrnostních situací na stav pozemních komunikací. Prováděcím předpisem k zákonu o pozemních komunikacích je Vyhláška MDS č. 104/1997 Sb., která mimo jiné blíže vymezuje rozsah, způsob a časové lhůty pro odstraňování závad ve sjízdnosti dálnice, silnice a místní komunikace. Protože vlastníkem místní komunikace je obec, je obcím uloženo, aby svým nařízením stanovily rozsah, způsob a lhůty odstraňování závad ve schůdnosti místních komunikací a průjezdných úseků silnic. Vlastník dálnice, silnice nebo místní komunikace se nemůže zprostit odpovědnosti za škody vzniklé uživatelům těchto pozemních komunikací, jejichž příčinou byla závada ve sjízdnosti, pokud neprokáže, že nebylo v mezích jeho možností tuto závadu odstranit, u závady způsobené povětrnostními situacemi a jejich důsledky takovou závadu zmírnit, ani na ni předepsaným způsobem upozornit.

Zmírňování následků povětrnostních vlivů negativně působících na sjízdnost pozemních komunikací se provádí podle předem připraveného plánu zimní údržby, který se sestavuje na období od 1.11. daného roku do 31.3. roku následujícího. Zákonem je dále uloženo, že v případě, že se sjízdnost pozemních komunikací mimo toto období zhorší, je nutné, aby správce pozemní komunikace zhoršený stav napravil bez odkladů v nejkratší možné době.

Je zřejmé, že stát, kraj či obec jako takový, není schopen sjízdnost pozemních komunikací zajišťovat sám. K tomuto účelu slouží každému uvedenému subjektu stanovený správce. Pro přehlednost uvádím následující tabulku (tab. č. 2. 1.), v níž jsou uvedeni jednotliví vlastníci pozemních komunikací a jimi stanovení správci.

KATEGORIE POZEMNÍ KOMUNIKACE	VLASTNÍK	SPRÁVCE
dálnice a silnice I. třídy	stát	Ředitelství silnic a dálnic ČR
silnice II. a III. třídy	kraj	Správa a údržba silnic
místní komunikace	obec	Technické služby obce

tab.č. 2.1 Kategorizace pozemních komunikací podle vlastníka a správce

Z hlediska zimní údržby jsou pozemní komunikace členěny do kategorií důležitosti.

## **2.2 Kategorie důležitosti pozemních komunikací pro potřeby zimní údržby**

Pro potřeby zimní údržby se pozemní komunikace rozdělují do 5 kategorií:

- dálnice a rychlostní silnice,
- pozemní komunikace I. pořadí důležitosti,
- pozemní komunikace II. pořadí důležitosti,
- pozemní komunikace III. pořadí důležitosti,
- pozemní komunikace neudržované.

K pozemním komunikacím zařazeným ve skupině komunikací I. pořadí důležitosti patří silnice I. třídy a také silnice II. třídy, které jsou z dopravního hlediska významné. U této kategorie pozemních komunikací se udržuje vždy celá šířka vozovky a to pomocí pluhování. Zbytkový sníh a led se následně rozpouštějí pomocí chemických materiálů. Pokud by byl chemický posyp neúčinný, je možné k posypu použít inertní materiály.

K pozemním komunikacím zařazeným ve skupině komunikací II. pořadí důležitosti patří ostatní silnice II. třídy a silnice III. třídy mající důležitý dopravní význam. I v případě pozemních komunikací této kategorie se udržuje celá šířka vozovky. Rozdíl ve srovnání s komunikacemi zařazenými do skupiny I. pořadí důležitosti spočívá zejména v možnosti, nechat v případě potřeby na pozemních komunikacích zbytkový sníh. Posyp je možné provádět také inertními materiály. Pokud to situace vyžaduje, může se posyp provádět jen na důležitých místech, například křižovatkách, směrových obloucích, výškové oblouky, zastávkách linkové osobní dopravy apod.

K pozemním komunikacím zařazeným ve skupině komunikací III. pořadí důležitosti jsou všechny zbylé silnice III. třídy. Jejich údržba se provádí až po obslužení všech silnic spadajících do I. a II. kategorie. Údržba se provádí

většinou pouze pluhováním. Posyp chemickými, případně inertními materiály se provádí pouze na vybraných komunikacích a na ostatních se může provádět pouze ve stejných případech jako u II. kategorie pořadí důležitosti.

Mezi neudržované pozemní komunikace zařazujeme ty, na kterých není prováděna hromadná přeprava osob a jejich dopravní význam je nízký, případně se jedná o pozemní komunikace, které jsou souběžné s jinými pozemními komunikacemi spadajícími do I. až III. pořadí důležitosti. Pokud je pozemní komunikace přidělena do této kategorie, musí být řádně označena dopravní značkou A22 a tato musí být doplněna dopravní značkou E12 (obr.č. 2.1) s textem: „SILNICE SE V ZIMĚ NEUDRŽUJE“.(obr. č. 2.2)



Obr. č. 2.1 Dopravní značka A22



Obr.č. 2.2 Dopravní značka E12

Přřazení jednotlivých pozemních komunikací do příslušné skupiny důležitosti se řídí vyhláškou MDS č. 104/1997 Sb. V této souvislosti je důležitým faktorem intenzita provozu na dané pozemní komunikaci. Na intenzitě provozu závisí také typ údržby z pohledu použitého posypového materiálu. V případě, že se jedná o komunikaci s vyššími intenzitami provozu, nelze pro ni použít inertní posypový materiál, který je určen zejména pro silnice nižšího pořadí důležitosti, protože by zde hrozilo vyšší riziko zranění ostatních účastníků silničního provozu odletujícím posypovým materiálem, případně jiné materiální škody.

Jelikož jsou na pozemních komunikacích zařazených do skupin s vyšším pořadím důležitosti (I. pořadí důležitosti je nejvyšší) také vyšší intenzity provozu, je tento fakt zapotřebí zohlednit i v časech potřebných pro zajištění sjízdnosti. Proto má každá skupina důležitosti stanovenou podle §45 ods.3 Vyhlášky 104/1997 Sb. maximální dobu, do jejíhož uplynutí musí být vozovka sjízdná. Tento čas je uvažován od doby výjezdu mechanismů na pozemní komunikace.

## 2.3 Časové lhůty pro provedení údržby

Rozsah, způsob a časové lhůty pro odstraňování závad ve sjízdnosti dálnice, silnice a místní komunikace blíže vymezuje vyhláška MDS č. 104/1997 Sb.

Tyto lhůty jsou stanoveny následovně:

- dálnice a rychlostní silnice: do 2 hodin,
- pozemní komunikace zařazené do I. pořadí důležitosti: do 3 hodin,
- pozemní komunikace zařazené do II. pořadí důležitosti: do 6 hodin,
- pozemní komunikace zařazené do III. pořadí důležitosti: do 12 hodin.

Jak je z údajů patrné, nejdříve sjízdné musejí být dálnice a rychlostní silnice, které jsou z hlediska zimní údržby preferovány před všemi ostatními. Je to zejména z důvodů jejich dopravního významu a z toho se odvíjejících mnohonásobně vyšších intenzit provozu a také vyšších rychlostí, dosahovaných na těchto typech pozemních komunikací.

Pravým opakem jsou pak pozemní komunikace spadající do skupiny komunikací III. pořadí důležitosti, u nichž činí limit pro obnovení sjízdnosti až 12 hodin. Je to dáno především jejich účelem. Komunikace spadající do této kategorie jsou totiž většinou pozemní komunikace III. třídy, které slouží ke spojení jednotlivých obcí a intenzity provozu na těchto komunikacích jsou minimální.

V případě komunikací místního významu, u kterých je vlastníkem obec, tato svým nařízením stanoví rozsah, způsob a lhůty odstraňování závad ve schůdnosti místních komunikací a průjezdných úseků silnic.

Z hlediska zimní údržby nastává zvláštní režim v případech tzv. kalamitních stavů.

## 2.4 Kalamitní stav

Za kalamitní stavy se považují situace, při nichž došlo ke zhoršení povětrnostních vlivů natolik, že není možné zajistit sjízdnost všech úseků v časech, které vyžaduje zákon. Mezi povětrnostní vlivy patří v tomto případě například silný vítr, dlouhodobé sněžení, souvislá námraza, mrznoucí déšť a jiné. V případě kalamitní situace se nepoužívá klasický plán zimní údržby, ale přechází se na plán kalamitní. V případě, že se některé silnice při tomto stavu stávají nesjízdné, jsou uzavřeny a jejich uzavření se nahlásí na dispečink Integrovaného záchranného systému.

Podle intenzity, velikosti zasaženého území a doby trvání kalamity rozdělujeme kalamitní stavy do 3 stupňů, tzv. I. – III. stupně kalamity.

- I. stupeň kalamity: kalamita je vyhlášena na území jednoho cestmistrovství (organizační složka správce silnic). Při vyhlášení I. stupně kalamity se primárně udržují ve stavu sjízdnosti pozemní komunikace patřící do skupin I. a II. pořadí důležitosti
- II. stupeň kalamity: kalamita je vyhlášena v situacích, kdy je nepříznivými povětrnostními podmínkami zasažena více než polovina jednoho okresu. Při vyhlášení II. stupně kalamity se udržují ve stavu sjízdnosti zejména pozemní komunikace zařazené do skupin I. stupně důležitosti a pouze dopravně nejzatíženější silnice patřící do II. stupně důležitosti.
- III. stupeň kalamity: kalamita je vyhlášena v situacích, kdy je nepříznivými povětrnostními podmínkami zasaženo souvislé území minimálně jednoho okresu. Při vyhlášení III. stupně kalamity se udržují ve stavu sjízdnosti pouze pozemní komunikace patřící do I. stupně důležitosti a v případě nutnosti jsou stanoveny objízdné trasy.

## 2.5 Správa silnic Olomouckého kraje

Zadané téma bude řešeno v podmínkách Správy silnic Olomouckého kraje (dále jen SSOK). SSOK je příspěvková organizace, která vznikla na základě zřizovací listiny H-325/2002 ze dne 1. 3. 2002 sloučením tehdejších správ údržby

silnic v okresních městech, jmenovitě Správy a údržby silnic (dále jen SÚS) Olomouc, SÚS Prostějov, SÚS Přerov a SÚS Šumperk.

Hlavní předmětem činnosti SSOK je:

- výkon vlastnických práv k silnicím a silničním pozemkům a ostatního majetku Olomouckého kraje v souladu se zřizovací listinou H-325/2002,
- správa a údržba silnic II. a III. třídy ve vlastnictví Olomouckého kraje, jejich součástí a příslušenství,
- investiční činnost na spravovaném majetku.

Ke splnění zadané náplně práce slouží zejména tyto činnosti:

- vedení evidence silnic II. a III. třídy v Olomouckém kraji
- zabezpečení prohlídek silnic II. a III. třídy v Olomouckém kraji
- zabezpečení prohlídek mostních konstrukcí, u nichž je vlastníkem Olomoucký kraj,
- údržby a opravy silnic vedených v evidenci, s cílem odstranit závady ve sjízdnosti, opotřebení či poškození silnic, včetně jejich součástí a příslušenství,
- údržba a opravy mostních objektů,
- investiční činnost na spravovaném majetku, na jejíž provádění je zapotřebí souhlas zřizovatele,
- další činnosti, vyplývající z podmínek stanovených zákonem č. 13/1997 Sb. a jeho prováděcí vyhlášky MDS č. 104/1997 Sb..

Pro přehlednost je do textu práce zařazena souhrnná tabulka (tab. č. 2. 2.), v níž je proveden soupis všech kategorií pozemních komunikací, jejichž údržbu

provádí SSOK s uvedením celkových délek komunikační sítě podle jednotlivých skupin důležitosti a podle použitého druhu posypového materiálu. Všechny hodnoty uvedené v tab. č. 2.2 jsou uvedeny v kilometrech.

<b>Celková délka silniční sítě</b>		<b>3 516,232</b>
<i>(všechny hodnoty jsou uváděny v km)</i>		
<b>z toho:</b>		
I. pořadí důležitosti		501,31
II. pořadí důležitosti		880,486
III. pořadí důležitosti		1 905,987
silnice bez údržby		228,449
silnice udržované pouze pluhováním		104,121
silnice udržované v zimním období posypem		3 183,662
<b>z toho:</b>		
chemickým posypem		2104,5
inertním posypem		1079,162
<b>Silnice udržované v zimním období celkem</b>		<b>3 287,783</b>

tab. č. 2. 2 Soupis pozemních komunikací ve správě SSOK<sup>1</sup>

V tab. č. 2.3 je dále uvedeno rozdělení silnic jednotlivých tříd podle délky komunikační sítě, zařazení komunikací do skupin pořadí důležitosti a dále z pohledu údržby (s výjimkou použitého posypového materiálu).

silnice (třída)	Celkem (km)	I. pořadí důležitosti	II. pořadí důležitosti	III. pořadí důležitosti	z toho pouze pluhované	neudržované v zimním období
I. třída	409,232	409,232				
II. třída	908,75	92,078	804,108	2,485	2,485	10,079
III. třída	2 198,25		76,378	1 903,50	101,636	218,37
<b>Celkem</b>	<b>3 516,23</b>	<b>501,31</b>	<b>880,486</b>	<b>1 905,99</b>	<b>104,121</b>	<b>228,449</b>

Tab. č. 2. 3 Rozdělení pozemních komunikací do tříd a pořadí důležitosti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zdroj: PZÚ SSOK 2010-2011.

<sup>2</sup> Zdroj: PZÚ SSOK 2010-2011.



Z čísel uvedených v tabulce je zřejmé, že posypem je udržováno celkem 3 183,662 km, z čehož je chemický materiálem udržováno 2 104,5 km. Tato hodnota představuje použití chemického posypu v 66,1 % všech posypů. Pokud by toto číslo bylo aplikováno na počet kilometrů jednotlivých pořadí důležitosti, dostáváme se k výsledku, že se chemický posyp aplikuje nejen ve skupinách komunikací zařazených do I. a II. pořadí důležitosti, ale také na převážnou část pozemních komunikací, zařazených do skupiny III. pořadí důležitosti.

Správa silnic Olomouckého kraje se strukturálně dělí na 3 střediska zimní údržby, střediska zimní údržby se dále dělí na jednotlivá cestmistrovství.

- středisko údržby Olomouc
  - o cestmistrovství Olomouc
  - o cestmistrovství Litovel
  - o cestmistrovství Šternberk
- středisko údržby JIH
  - o cestmistrovství Přerov
  - o cestmistrovství Hranice
  - o cestmistrovství Lipník nad Bečvou
  - o cestmistrovství Prostějov
  - o cestmistrovství Konice
  - o středisko zimní údržby Vrchoslavice
  - o středisko zimní údržby Protivanov
- středisko údržby Šumperk
  - o cestmistrovství Víkřovice
  - o cestmistrovství Zvole

- cestmistrovství Jeseník
- cestmistrovství Hanušovice

V areálu sídla každého cestmistrovství, případně střediska zimní údržby, se nachází skládka posypového materiálu a potřebné množství techniky. Technika se dělí na techniku v pohotovosti a techniku záložní. Na všech skládkách je před začátkem zimního období v potřebném množství uskladněn chemický i inertní materiál. Další doplňování zásob na tyto skládky se děje v průběhu zimního období a řídí se operativně.

## **2.6 Organizace provádění zimní údržby**

Udržování pozemních komunikací, jako takové musí být plánováno. Připravenost se projeví zejména v krizových situacích. I legislativa proto ukládá, aby správci pozemních komunikací měli připravený plán údržby. Nejinak je tomu i v podmínkách Olomouckého kraje.

### **Plán zimní údržby pozemních komunikací Olomouckého kraje**

Je základním dokumentem, podle kterého se plánuje a realizuje zimní údržba všech komunikací spadajících do kompetence SSOK. Zpracovávají jej zaměstnanci SSOK a jeho znění se každoročně aktualizuje. Při tvorbě diplomové práce bylo vycházeno z posledního aktualizovaného znění, tj. Plánu, podle kterého se prováděla zimní údržba pozemních komunikací v zimní sezóně 2010/2011.

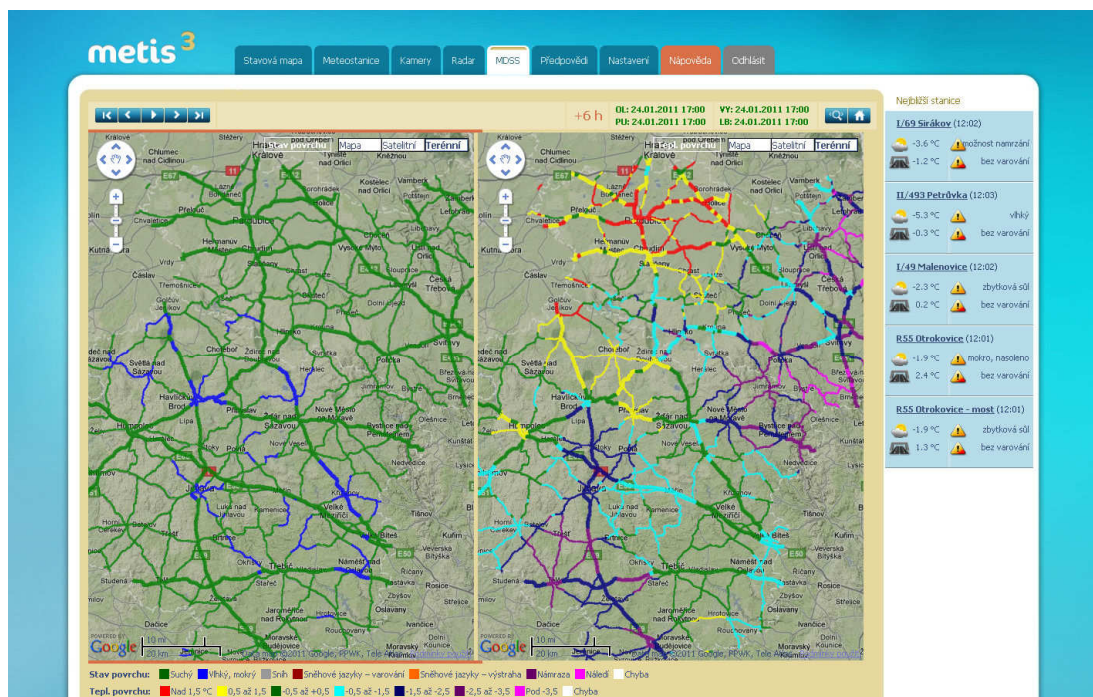
Plán zimní údržby sezónu 2010/2011 se skládá ze 4 oddílů. První oddíl je věnován základním ustanovením, zásadám a lhůtám při zimní údržbě a stanovením povinností jednotlivých pracovníků při zimní údržbě. Druhý oddíl se zabývá obecným rozdělením pozemních komunikací do kategorií důležitosti a je také textovou částí celého plánu zimní údržby. Jsou zde uvedeny seznamy skládek posypového materiálu a seznam veškeré vlastní techniky na jednotlivých cestmistrovstvích. Třetí oddíl plánu se zaměřuje na situace při vzniku kalamitního stavu, povinnosti jednotlivých pověřených osob a seznam možné techniky, kterou lze pronajmout v případě vzniku kalamitní situace. Čtvrtá část je část grafická. Jedná se o zakreslení jednotlivých jízdních okruhů techniky do mapových podkladů. Součástí každého zakresleného okruhu je i tabulkový zápis, obsahující

základní informace o okruhu. Mezi potřebné informace patří název okruhu, výchozí stanoviště, druh posypu a kontakt na příslušného vedoucího cestmistrovství. U každého okruhu je dále textový soupis, obsahující číslo pozemní komunikace, její zařazení do pořadí důležitosti a kilometrické staničení, včetně celkově ujeté vzdálenosti při obsluze a doby potřebné pro její údržbu.

Hlavní osoba, rozhodující o technologii prováděné zimní údržby je dispečer, jehož stanoviště je umístěno v sídle SSOK, případně v sídlech jednotlivých cestmistrovství.

Každý dispečer má za účelem řízení technologie zimní údržby k dispozici:

- 4 krát denně aktuální předpověď počasí a také předpověď počasí na následující 3 dny, zejména kvůli plánování pohotovostí pro řidiče. Jedná se o speciální silniční předpověď počasí, kterou pro Správu silnic Olomouckého kraje zpracovává Český hydrometeorologický ústav, sídlící v Ostravě,
- jednotný systém dopravních informací, který je společným projektem MVČR, MDČR, ŘSD a dalších orgánů a sloužící pro sběr, zpracování a publikaci dopravních informací. Je určen pro zvýšení bezpečnosti a plynulosti dopravního provozu na pozemních komunikacích a případně pro řízení dopravy. Za tím účelem je zajištěn nepřetržitý monitoring a následný sběr dopravních informací,
- údaje ze systému METIS (obr. č. 2.3), což jsou informace z meteostanic umístěných v blízkosti vybraných pozemních komunikací,
- radarové snímky meteorologické situace,
- podpůrný systém pro rozhodování dispečera, tj. software, který pomáhá v případě rozhodování o zvolení technologie údržby. Tento systém je rozšířen pouze na vybraných částech silniční sítě. Zpracovává informace z meteostanic u pozemních komunikací, z jednotlivých posypových vozů, termální mapy pozemních komunikací, konstrukčních plánů pozemních komunikací a na základě těchto informací vydá doporučení pro dispečera.



Obr. č. 2.3. Informační systém METIS

Každý dispečer disponuje dále:

- osobním vozidlem, aby v případě potřeby mohl vyjet na kontrolní jízdu stavu pozemní komunikace,
- možností přímé komunikace s meteorologem,
- telefonním seznamem zaměstnanců, starostů obcí a řidičů autobusů.

Dispečer při zajišťování zimní údržby pozemních komunikací zejména řídí:

- stanovení času výjezdu posypových vozidel,
- podrobný harmonogram technologie údržby,
- doporučení dávkování posypového materiálu,
- zjišťování průběhu údržby od řidičů posypových vozů a to každou hodinu telefonicky nebo při nakládce posypového materiálu,
- řešení všech typů problémů s posypovou technikou (nehody posypových vozidel apod.).

Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících efektivitu zimní údržby je také typ posypového materiálu.

## 2.7 Posypové materiály

Použití jednotlivých druhů posypových materiálů primárně závisí na skupině důležitosti pozemních komunikací zařazených do okruhů zimní údržby. Dalším kritériem pro volbu vhodného posypového materiálu je dopravní důležitost a intenzita provozu na pozemní komunikaci, kterou musí posoudit tvůrce plánu zimní údržby. Základní rozdělení posypových materiálů je na materiály konvenční a nekonvenční. Mezi konvenční, tedy ty, které se dnes běžně používají, se řadí chemické a inertní materiály. Tyto materiály jsou dlouhodobě ověřeny, mají dostupnou cenu a jsou známy všechny jejich negativní dopady při použití.

Při porovnání konvenčních materiálů se stále ve větší míře uplatňuje chlorid sodný, spolu se solankou. Jeho výhodou, zejména ve srovnání s nekonvenčními posypovými materiály, je jeho nízká cena. Jeho hlavní nevýhodou je korozivní působení na kovové materiály a negativní vliv na životní prostředí.

Za konvenční druhy posypových materiálů jsou považovány:

- chemický posyp
  - jedná se o chemické materiály, které reagují při dopadu na pozemní komunikaci a tím způsobují tání ledové, případně sněhové vrstvy,
  - jedná se o suchou sůl (chlorid sodný), případně míchanou se solankou,
  - solanka je 20% roztok chloridu vápenatého
  - uvažovaná objemová hmotnost soli  $1300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
  - uvažovaná hustota solanky  $1198 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
  - spotřeba posypové směsi se pohybuje od  $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  do  $40 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , běžně  $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$

- průměrná objemová kapacita posypového vozidla je 4 až 5  $m^3$  soli
  - průměrná objemová kapacita posypového vozidla je 1,5 až 2,5  $m^3$  solanky,
  - průměrná hmotnostní kapacita posypového vozidla je 5 až 7 tun soli,
  - průměrná hmotnostní kapacita posypového vozidla je 1,8 až 3 tuny solanky,
  - používá se na pozemní komunikace patřící do I. a II. pořadí důležitosti, tj. pozemní komunikace s vyššími intenzitami provozu,
  - účinný pouze do cca  $-7^{\circ}\text{C}$ , poté se používá spolu s chloridem vápenatým,
- inertní materiál
- tyto materiály nereagují chemicky,
  - při dopadu na zasněženou, případně zledovatělou vrstvu zvyšují součinitel adheze mezi touto vrstvou a pneumatikou vozidla,
  - jedná se o písek, případně kamennou drť nebo strusku,
  - spotřeba posypového materiálu se pohybuje od 200  $gm^{-2}$  do 500  $gm^{-2}$ , běžně 300  $gm^{-2}$ ,
  - průměrná objemová kapacita posypového vozidla je 5  $m^3$ ,
  - průměrná hmotnostní kapacita posypového vozidla je 9 tun posypového materiálu,
  - používá se na pozemních komunikacích zařazených do III. pořadí důležitosti, tj. pozemní komunikace s nižšími intenzitami provozu.

Nevýhodou inertních posypových materiálů je především jejich nízká účinnost a také jejich následky po skončení zimního období. Po jejím skončení je

totiž nutné zajistit úklid pozemních komunikací, které byly tímto druhem posypu udržovány. Pokud se tak neučiní, zvyšuje se v těchto místech prašnost a také může být ohrožena bezpečnost provozu na pozemních komunikacích, zejména pak, pokud se tento neuklizený zbytkový posyp bude nacházet ve směrovém oblouku. Jeho neodstraněním ve směrových obloucích může dojít ke značnému snížení adheze projíždějícího vozidla a následné nehodě. Z uvedeného důvodu se inertními materiály neudržují pozemní komunikace plošně, ale pouze směrové a výškové oblouky, křižovatky a další důležitá místa na pozemních komunikacích.

Nekonvenční druhy posypových materiálů.

Nekonvenční materiály jsou používány zatím spíše ve stádiu výzkumu a testování. Testování probíhalo zejména v posledních letech v západní Evropě. Cílem těchto testů bylo najít adekvátní náhradu za běžně používaný chlorid sodný, zejména z důvodu jeho již zmíněných negativních dopadů na životní prostředí. Bylo nalezeno několik možných náhrad za chlorid sodný, nicméně všechny mají také svá negativa. Tím nejčastějším je jejich pořizovací cena.

K nekonvenčním druhům posypových materiálů se řadí chlorid vápenatý, chlorid hořečnatý, močovina, alkoholy a glykoly. V dalším textu budou uvedené nekonvenční druhy posypových materiálů stručně charakterizovány.

- Chlorid vápenatý:

- používá se jako směs s chloridem sodným (při teplotách pod  $-7^{\circ}\text{C}$ ),
- vykazuje rychlejší počátek rozpouštění námrazy,
- vyžaduje specifické podmínky pro skladování a to z důvodu vyšší absorpce vzdušné vlhkosti,
- má vysokou cenu ve srovnání s konvenčními posypovými materiály (pětinásobek ceny chloridu sodného),
- při delším používání narušuje strukturu betonu – způsobuje trhliny a následný rozpad betonu.

- Chlorid hořečnatý:

- nevýhodou je velmi vysoká schopnost vázat vlhkost (vyšší než chlorid vápenatý),
  - nepoužívá se běžně z důvodů možnosti snížení součinitele adheze,
  - je doporučen pouze pro likvidační posypy, například v případě kalamit.
- Močovina:
- je dodávána v zrnité formě,
  - používá se ve směsi s pískem, případně vodou, jelikož je velice lehká a hrozí její odvanutí větrem mimo pozemní komunikaci,
  - při teplotách nižších než -7 °C klesají rozmrazovací schopnosti,
  - má velice nízké korozivní účinky,
  - má vysokou pořizovací cenu (sedminásobek chloridu sodného),
  - působí jako hnojivo, což je nežádoucí z důvodu následné jarní a letní údržby pozemních komunikací.
- Alkoholy a glykoly:
- způsobují velice intenzivní vypaření vody,
  - rozpouštějí námrazu v delší době než chlorid sodný
  - mají vysokou pořizovací cenu,
  - mají negativní vliv na životní prostředí.

#### Sestava plánu zimní údržby

Pro potřeby sestavení plánu posypu při zimní údržbě se uvažuje jednotná šířka pozemní komunikace 5,5metrů a pozemní komunikace je při posypu udržována pouze v jednom směru. Jelikož je známa minimální a maximální spotřeba posypového materiálu a také uvedená jednotná šířka pozemní



komunikace, může být vypočtena minimální a maximální spotřeba posypového materiálu na 1 běžný metr pozemní komunikace.

- Spotřeba posypového materiálu na 1 běžný metr:

▪ minimální:  $s_{ChBM} = 10 \cdot 5,5 = 55 \text{ g} \cdot \text{bm}^{-1}$

▪ maximální:  $s_{ChBM} = 40 \cdot 5,5 = 220 \text{ g} \cdot \text{bm}^{-1}$

Spotřeba posypového materiálu na jeden běžný metr vozovky se tedy pohybuje v rozmezí od  $55 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$  do  $220 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Z vypočtené spotřeby na 1 běžný metr pozemní komunikace se dá vypočítat minimální a maximální spotřebu na 1 kilometr udržované trasy.

- spotřeba posypového materiálu na 1 kilometr:

▪ minimální:  $s_{ChKM} = 55 \cdot 10^3 = 55000 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$

▪  $s_{ChKM} = 55 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-1}$

▪ maximální  $s_{ChKM} = 220 \cdot 10^3 = 220000 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$

$s_{ChKM} = 220 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-1}$

Spotřeba posypového materiálu na jeden kilometr vozovky se tedy pohybuje v rozmezí od  $55 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-1}$  do  $220 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-1}$ .

## 2.8. Technologie práce posypového vozu

Technologie práce posypového vozu je výrazně ovlivněna povětrnostními podmínkami. Nedá se tedy sestavit jeden plán údržby, který by odpovídal všem situacím. Hlavními faktory ovlivňujícími samotnou technologii je teplota a intenzita spadu sněhových srážek a celkově pak povětrnostní situace. Není možné uvažovat situaci, kdy by vozidlo vyjelo ze svého stanoviště a provádělo vždy stejnou údržbovou činnost. Technologii údržby vždy stanovuje provozní dispečer na základě aktuální situace a dat, které má k dispozici. Je zřejmé, že v například v případě mrznoucích mlh nebude vozidlo vysláno na pluhování komunikace. Samotné pluhování se realizuje až od chvíle, kdy je výška sněhové vrstvy na pozemní komunikaci vyšší než 2 centimetry. Do tohoto okamžiku je nemožné tuto

vrstvu odstranit mechanicky a jedná se o tzv. neplužitelné množství. V této situaci se údržba provádí pouze posypem.

Avšak i posyp má svá pravidla. Posyp komunikace se musí vždy provádět na komunikaci, která je proplužena, tj. vrstva sněhové vrstvy nepřesahuje již zmíněné 2 cm. V případě, že je vrstva sněhu vyšší než zmíněné 2 cm a to i po proplužení, je zapotřebí jízdu úsekem opakovat tolikrát, dokud nebude tato podmínka splněna. Její nesplnění by totiž vedlo k mizivé až téměř žádné účinnosti posypu.

V případě malé intenzity spadu sněhových srážek může řidič posypového vozu projíždět stanovený okruh pouze jednou a při plužení provádět i posyp. Avšak v případě vyšší intenzity spadu sněhových srážek, kdy musí daný úsek proplužit vícekrát, nastává problém. Řidič musí správně odhadnout vzdálenost, po které musí směr vozidla otočit a provést pluhování v druhém směru. V případě, že by celý okruh proplužil v jednom směru a směr změnil až na konci, může nastat situace, že již jednou proplužený úsek okruhu bude před začátkem posypu opět zasněžený do takové míry, že následný posyp bude neúčinný.

Jízda každého posypového vozidla se skládá z několika částí:

- nakládka posypového materiálu na výchozím stanovišti,
- přesun vozidla z výchozího stanoviště na místo začátku dané posypové jízdy v okruhu,
- provedení plužení a posypu podle stanoveného plánu zimní údržby,
- návrat na výchozí stanoviště a opětovná nakládka posypového materiálu,
- přesun vozidla na v pořadí další posypovou jízdu,
- opakování předchozích úkonů.

S ohledem na různorodost způsobu zimní údržby existuje velké množství variantologií. V předložené práci bude pozornost věnována plánu, který je připraven, při níž napadlo 2 cm sněhových srážek, a dále již nesněží. Bude předpokládáno, že se jedná o mokrý sníh a teplota se pohybuje v intervalu od 0 °C

do 1 °C. Jde tedy o neplužitelné množství. V tomto případě se k údržbě použije technologie posypu vlhčenou solí, tj. směsí soli a solanky.

### 3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA ŘEŠENÍ

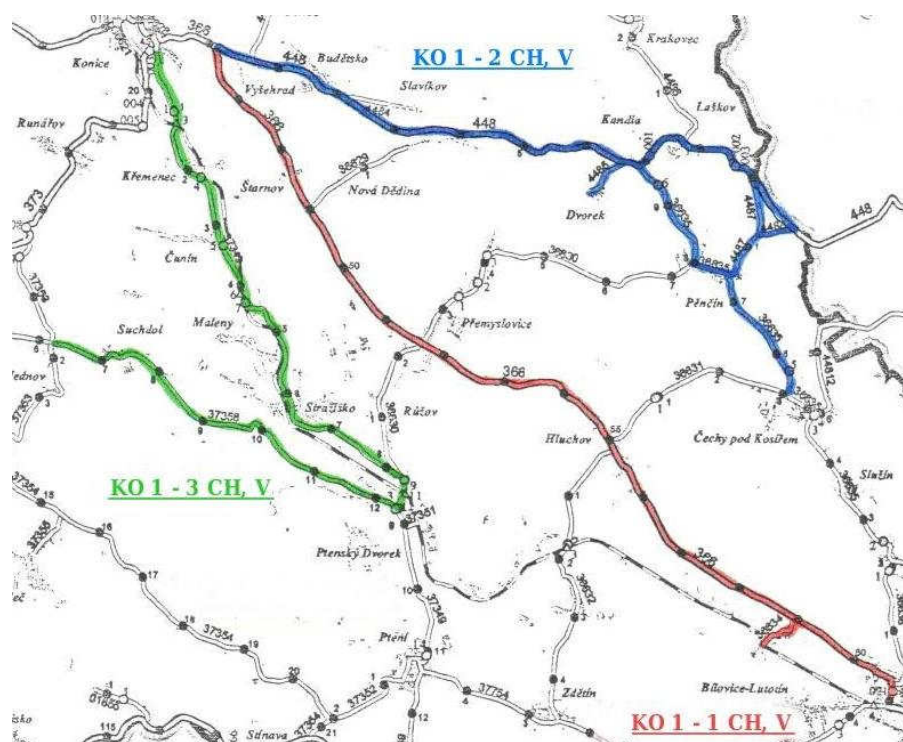
#### 3.1. Obecný popis a stanovení podmínek

V případě přípravy plánu posypu při zimní údržbě se vychází ze situace, že každá pozemní komunikace, spadající do kategorie udržovaných komunikací, musí být projeta posypovým vozem právě jednou. Tento předpoklad je specifikován jednotnou uvažovanou šířkou pozemní komunikace, přičemž posyp probíhá po celé pozemní komunikaci při jednom průjezdu.

Je však nutné brát v úvahu i fakt, že druh posypu závisí nejen na pořadí důležitosti, ale také na předchozím uvážení tvůrce zimního plánu. Tento problém lze vyřešit rozdělením množiny existujících okruhů zimní údržby na více podmnožin. Jednotlivé podmnožiny odpovídají použitému druhu posypového materiálu. Při sestavování výchozí množiny byl použit existující plán zimní údržby na rok 2010/2011, který obsahuje všechny pozemní komunikace v Olomouckém kraji, včetně určení druhu posypu na nich použitých.

Cílem návrhu této práce není návrh okruhů nových, ale optimalizace okruhů stávajících, se zaměřením na optimalizaci tras ve předem vybraných okruzích. Cílem bude minimalizace najetých neproduktivních kilometrů. Výběr jednotlivých okruhů pro optimalizaci podléhá jistým pravidlům. Mělo by se jednat o okruh s hustou strukturou jednotlivých jízd, tzn. nejedná se například o jednu, případně více dlouhých jízd, které nemá téměř žádné větvení. V tomto případě je optimalizace téměř vyloučena.

Příklad nevhodného okruhu k optimalizaci je uveden na obr.č.3.1. okruh KO1 CH, V.



Obr.č. 3.1 Příklad okruhu nevhodného pro optimalizaci

Po výběru vhodného okruhu lze přistoupit k dalším krokům, které povedou k jeho optimalizaci.

Prvním krokem po výběru vhodného okruhu při řešení je jeho transformace na graf dopravní sítě. Hrany v nově vzniklém grafu představují jednotlivé pozemní komunikace mezi městy či obcemi, které jsou v okruhu obsluhovány. Ohodnocení hran bude logicky označovat reálné vzdálenosti mezi těmito místy. Vrcholy budou představovat města, vesnice, případně křižovatky na pozemních komunikacích, na kterých dochází ke větvení sítě udržovaných komunikací. Délky úseků reprezentované ohodnocením hran budou čerpány z původního plánu zimní údržby a z mapových podkladů. Pozemní komunikace, které nejsou v zimně udržované a nespádají tedy do žádné kategorie důležitosti, nebudou do grafu dopravní sítě zahrnuty.

Ve vytvořeném grafu dopravní sítě se budou plánovat nové trasy jízdy obslužného vozidla. Jejich cílem je minimalizovat neproduktivně najeté kilometry vzhledem k původnímu plánu.

Aby však byla nově naplánovaná trasa obslužného vozidla proveditelná, je zapotřebí zajímat se o omezující podmínky, které návrh tras v reálné praxi limitují.

První logickou podmínkou je respektování kapacity obslužného vozidla. Protože jsou k dispozici údaje o technických parametrech jednotlivých údržbových vozidel a minimální, běžnou a maximální spotřebu posypového materiálu, není problém vypočítat maximální teoretický nájezd vozidla na jedno naložení.

Druhým omezujícím faktorem, který musí být při návrhu obslužné jízdy dodržen, je časová lhůta, kterou pro dané pořadí důležitosti pozemní komunikace nařizuje zákon.

Z hlediska řešení úlohy jde však o omezení, které proces řešení výrazně komplikují. Z uvedeného důvodu bude při prověřování efektivity současného způsobu obsluhy zvolen vícefázový postup, kdy v první etapě řešení budou oba typy omezení dočasně zanedbány, bude nalezeno optimální řešení, přičemž teprve následně bude posuzováno, zda nalezené řešení uvedené typy omezení zohledňuje. V případě, že nově vzniklá trasa bude časové i kapacitní podmínky splňovat, můžeme dané řešení bez dalších úprav přijmout jako nové optimální řešení.

Pokud by však nebyla splněna některá z uvedených podmínek, případně obě, je nutno přistupovat k vypočítané hodnotě jako k optimistickému odhadu délky trasy. V tomto případě by se sestavilo pásmo, které by bylo z jedné strany ohraničeno vypočítaným optimistickým odhadem a z druhé strany by bylo omezeno existujícím řešením. Pro posouzení efektivity existujícího plánu je pak rozhodujícím faktorem šířka vzniklého pásma. Pakliže by tato šířka pásma byla malá, lze konstatovat, že původně navržená trasa je navržena efektivně. Pokud by tomu tak nebylo, lze očekávat, že existuje lepší řešení a je nutno jej hledat.

V situaci, kdy při nalezení optimálního řešení jsou splněna obě omezení, lze nalezené řešení, pokud je lepší ve srovnání se současným stavem okamžitě aplikovat. V ostatních situacích lze pak k řešení použít některou z heuristických metod, ovšem již bez záruky, že bude nalezeno lepší řešení, než je to současné.

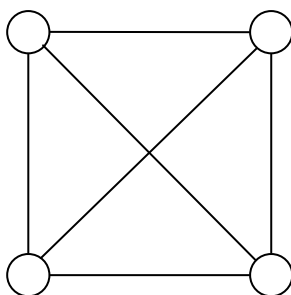
Úlohu, v níž musíme obsloužit všechny úseky v dopravní síti právě jednou, známe z optimalizace dopravních procesů. Jedná o obsluhu úseků sítí.

### 3.2 Obsluha úseků sítí

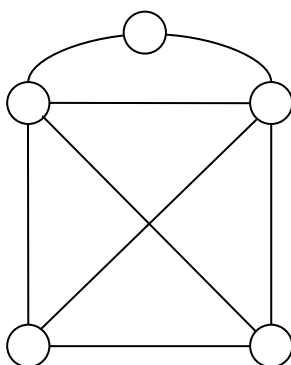
Z pohledu obsluhy úseků rozlišujeme dopravní sítě na eulerovské a neeulerovské. Eulerovskou sítí je nazývána každá síť, ve které jsou splněny podmínky pro existenci Eulerova tahu. Všechny ostatní sítě jsou považovány za neeulerovské.

Tahem rozumíme střídavou posloupnost vrcholů a hran v síti, která začínající a končící v uzlu, přičemž žádná hrana se nesmí opakovat.

Eulerův tah je potom definován jako tah, který obsahuje každou hranu právě jednou. Jak však již bylo dokázáno v dávější minulosti, tento tah nelze sestavit v každém grafu.



Obr. č. 3.2 Příklad grafu, v němž nelze sestavit Eulerův tah



Obr. č. 3.3 Příklad grafu, v němž lze sestavit Eulerův tah

Podmínkou existence Eulerova tahu jsou předepsané počty lichých a sudých stupňů vrcholů. Stupeň vrcholu udává, kolik hran s daným vrcholem inciduje.

Pro existenci Eulerova tahu musejí být v zadané síti buď všechny vrcholy sudého stupně nebo právě dva vrcholy stupně lichého. Podle počtu vrcholů lichého a sudého stupně obsažených v síti se rozeznává Eulerův tah na uzavřený nebo otevřený. Pakliže jsou všechny vrcholy stupně sudého, je Eulerův tah označen jako tah uzavřený. Pokud jsou právě dva lichého stupně, je Eulerův tah označen jako tah otevřený.

V případě otevřeného Eulerova tahu začíná tah v jednom z vrcholů lichého stupně a končí ve druhém z vrcholů lichého stupně. Pokud se jedna o tah uzavřený, začíná i končí algoritmus ve stejném, a to dokonce libovolném vrcholu.

Je zřejmé, že v případě obsluhy neeulerovských sítí, při kterých je celkový počet vrcholů lichého stupně sudé číslo (vyplývá z principu sudosti) vyšší než dva, nastává problém. Nelze zde totiž splnit podmínku, aby každá hrana byla obsloužena právě jednou. Z tohoto důvodu je nutno při sestavě grafu některé hrany procházet vícekrát. V řešeném případě se každé projití hranou více než jednou považuje za neproduktivně ujetou vzdálenost.

Problém obsluhy neeulerovských sítí se řeší ve dvou krocích:

1. řeší se úloha o vyhledání minimálního párování mezi všemi vrcholy lichého stupně a vyhledají se dvojice vrcholů, mezi kterými se budou realizovat neproduktivní přejezdy. Jak již bylo uvedeno počet vrcholů lichého stupně v obyčejném konečném grafu je vždy sudý (tzv. princip sudosti).
2. v řešené síti doplněné o hrany reprezentující neproduktivní přejezdy se následně vytvoří Eulerův tah.

Pro řešení úloh o obsluze úseků dopravních sítí nacházejí uplatnění tři algoritmy:

- Fleuryho algoritmus,



- Edmondův algoritmus,
- Floydův algoritmus.

### 3.3 Fleuryho algoritmus

Fleuryho algoritmus je určen pro hledání uzavřeného Eulerova tahu. S pomocí jednoduché úpravy se však dá použít i pro konstrukci otevřeného Eulerova tahu. Úprava spočívá v doplnění fiktivního spojení mezi oběma vrcholy lichého stupně, čímž se z otevřeného Eulerova tahu stává tah uzavřený.

Pro praktické uplatnění však podmínkou je, aby konstrukce Eulerova tahu započala v jednom z vrcholů lichého stupně a jako první zařazený úsek byl vybrán úsek fiktivní. Celý postup konstrukce se pak může vyjádřit jako postupné zařazování úseků do tahu tak, aby se žádný úsek neopakoval.

Jednotlivé kroky Fleuryho algoritmu:

1. Vybere se libovolný vrchol a v něm se započne s konstrukcí Eulerova tahu. Dále se vybere libovolný úsek incidující s tímto vrcholem.
2. Jako další úsek se zařazuje do tahu úsek, který inciduje s naposledy navštíveným vrcholem, a jehož zařazením do tahu nedojde k rozpadu grafu na dva neprázdné komponenty grafu, případně na neprázdný komponent a uzel, v němž bylo s konstrukcí Eulerova tahu započato.
3. Tah je Eulerův ve chvíli, v kdy jsou v něm obsaženy všechny úseky sítě (hrany grafu).

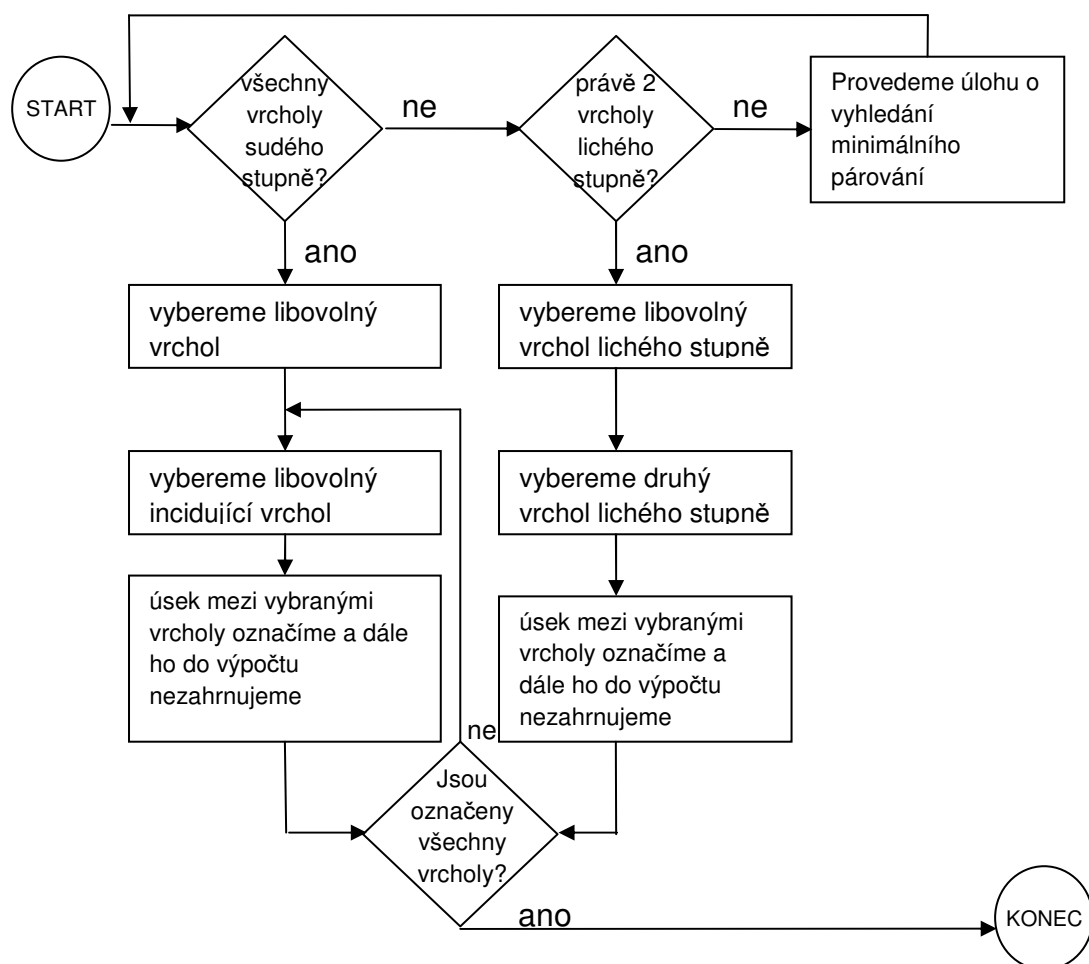
Jak již bylo napsáno, nemusí být vždy podmínky pro Eulerův tah splněny. To znamená, že se v síti nenachází všechny uzly stupně sudého, resp. právě dva vrcholy stupně lichého. V tomto případě se přechází k Edmondsově algoritmu, který je určitým rozšířením původního postupu. V první části Edmondsova algoritmu se řeší úloha minimálního párování uzlů lichého stupně. To znamená, že se realizuje zdvojování úseků mezi uzly lichých stupňů. Při této proceduře se dbá na to, aby součet délek všech zdvojených úseků byl minimální.

Proces párování vrcholů může být prováděn graficky nebo pomocí matematického modelu. V případě použití grafické metody se jedná o Edmondsův algoritmus.

Jednotlivé kroky Edmondsova algoritmu

1. v dané dopravní síti se vyhledají všechny vrcholy lichého stupně. Jako kontrola může sloužit, že jejich počet musí být vždy sudé číslo (je-li graf obyčejný a konečný),
2. z vybraných vrcholů se sestaví graf, ve kterém se řeší úloha o minimálním párování,
3. úseky odpovídající minimálnímu párování se přenesou do původní dopravní sítě, čímž se získá nová dopravní síť, v níž jsou všechny vrcholy sudého stupně.
4. na novou síť se použije Fleuryho algoritmus
5. úseky, které byly přidány odpovídají neproduktivně ujetým cestám.

Celý postup Edmondsova algoritmu lze znázornit jednoduchým vývojovým diagramem, viz obr. č. 3. 4.



Obr. č.:3.4 Vývojový diagram Edmondsova algoritmu

### 3.4 Úloha o vyhledání minimální párování řešená matematickým modelem

Úlohu o vyhledání minimálního párování vrcholů lichého stupně v obyčejném konečném grafu lze řešit za použití metod lineárního programování. Z modelů, které jsou v lineárním programování sestaveny lze použít model přiřadovací úlohy.

Vstupní údaje modelu:

- matice  $D$ , představující vzdáleností mezi vrcholy lichého stupně. Tu získáme aplikací Floydova algoritmu. Ten se aplikuje na celou dopravní síť a z výsledné matice vzdáleností se následně vyberou pouze řádky a sloupce odpovídající vrcholům lichého stupně. Redukovaná matice však nemůže do dalšího výpočtu vstupovat v nezměněné podobě, musí

být upravena a to tak, že na pozice prvků ležících na hlavní diagonále se umístí prohibitivní konstanty. Pokud tak nebylo učiněno, došlo by při řešení úlohy k párování vrcholů  $v_i$  a  $v_j$ , pro které platí  $i = j$  (na těchto pozicích jsou totiž v původní matici nulové sazby), tzn. k párování vrcholů se sebou samými. Hodnota účelové funkce by tedy v tomto případě rovna 0, jelikož řešící algoritmus by při vyhledávání minima využil tuto nulovou vzdálenost.

Význam symbolů, uvedených v matematickém modelu:

- konstanty:

$n$  - počet vrcholů

$d_{ij}$  - vzdálenost mezi vrcholy  $v_i$  a  $v_j$

- v případě, že  $i = j$ , potom  $d_{ij} = T$

$T$  - prohibitivní konstanta

- proměnná

$x_{ij}$  bivalentní proměnná, tedy proměnná nabývající hodnot 0 a 1, představující přesun z vrcholu lichého stupně  $v_i$  do vrcholu lichého stupně  $v_j$ .

○  $x_{ij} = 0$  z vrcholu lichého stupně  $v_i$  neplánujeme přesun do vrcholu lichého stupně  $v_j$

○  $x_{ij} = 1$  z vrcholu lichého stupně  $v_i$  plánujeme přesun do vrcholu lichého stupně  $v_j$

Matematický model má tedy tvar:

$$\min f(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot x_{ij} \cdot 0,5$$

- za podmínek:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{pro} \quad i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{pro} \quad j = 1, \dots, n$$

$$x_{ij} = x_{ji} \quad \text{pro} \quad i = 1, \dots, n$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \text{pro} \quad i = 1, \dots, n$$

$$j = 1, \dots, n$$

Účelová funkce modelu reprezentuje celkovou neproduktivně ujetou vzdálenost mezi vrcholy lichého stupně. První z omezujících podmínek zajišťuje, že z každého vrcholu  $v_i$  proběhne přesun právě do jednoho vrcholu  $v_j$ , druhá z omezujících podmínek zajistí, že do každého vrcholu  $v_j$  bude uskutečněn přesun právě z jednoho vrcholu  $v_i$ , třetí z omezujících podmínek zajistí inverzní přiřazení párování mezi vrcholy  $v_i$  a  $v_j$  a poslední omezující podmínka vyjadřuje definiční obory proměnných vystupujících v úloze.

### 3.5 Floydův algoritmus:

Slouží k vyhledání vzdáleností v dopravních sítích. Je založen na principu porovnávání délek přímých a nepřímých cest mezi vrcholy. V této práci plní pouze podpůrnou funkci pro potřeby úlohy o minimálním párování.

Algoritmus lze popsat následujícími čtyřmi kroky:

1. Sestavení výchozí matice vzdáleností probíhá podle zásad Floydova algoritmu, tj.:

$$c_{ij} = 0, \text{ pokud } i = j,$$

$c_{ij} = d(i, j)$ , pokud existuje hrana mezi vrcholy  $v_i$  a  $v_j$

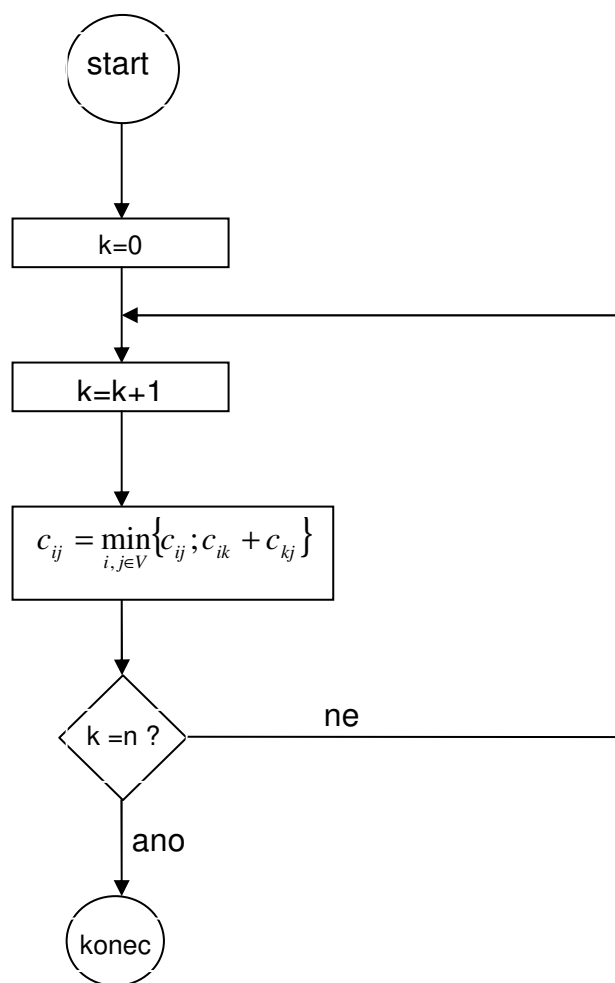
$c_{ij} = \infty$ , pokud hrana mezi vrcholy  $v_i$  a  $v_j$  neexistuje.

2. Zavede se proměnná  $k$ ., která udává index vrcholu, přes který se provádí porovnání délky přímých (nebo dosud vypočítaných) a nepřímých cest. V prvním kroku položíme  $k = 1$
3. Provede se porovnání délky dosud známé s vedoucí cestou přes vrchol  $k$ , (pokud je její délka známa) podle vztahu

$$c_{ij} = \min\{c_{ij}; c_{ik} + c_{kj}\}$$

Při porovnání se vynechávají prvky  $i = k$ ,  $j = k$ ,  $i = j$  a prvky, pro které platí  $c_{ik} = \infty$ ,  $c_{kj} = \infty$ . Pokud vyjde délka cesty přes vrchol  $k$  nižší, než původní délka, zapíše se do matice nová hodnota, v opačném případě se zachová hodnota původní

4. Pokud proměnná  $k$  nedosáhla hodnoty rovné počtu vrcholů ( $k=n$ ), zvýší se její hodnota podle vztahu  $k=k+1$  a následuje návrat ke kroku 3. V případě že  $k = n$ , je  $k$  dispozici matici vzdáleností.



Obr.č. 3.5 Vývojový diagram Floydova algoritmu

V následující kapitole bude uvedený matematický aparát použit pro úlohu o prověření optimality obsluhy silniční sítě při řešení zimní údržby v podmínkách SSOK.

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE

Prováděný experiment se skládal z několika částí, které budou popsány v následujícím textu. V rámci optimalizace budou použity stávající jízdní okruhy, u nichž je známa přesná trasa vozidla, včetně najetých kilometrů.

### 4.1. Kapacitní výpočty

Před samotnou aplikací optimalizačních metod musí být ze vstupních údajů, které jsou k dispozici, provedeny kapacitní výpočty. Podle teoretického postupu uvedeného v předchozích částech práce se však kontrola jejich dodržení bude provádět až po výpočtu nové trasy vozidla. Výpočet kapacity soli a solanky ve vozidle byl proveden z údajů, které byly získány od SSOK.

Pro výpočet je uvažováno posypové vozidlo, jehož objemová kapacita soli činí  $4 \text{ m}^3$  a kapacita solanky činí  $2 \text{ m}^3$ . Posypové vozidlo je ve vozidlovém parku SSOK zastoupeno v nejvyšším počtu.

Experiment je navrhován pro situaci, kdy se teplota pohybuje kolem  $0^\circ\text{C}$  a padá mrznoucí mlha. V tomto případě se tedy provádí posyp tzv. vlhčenou solí, což je směs soli a solanky. Solanka má v tomto případě zajistit rychlejší spuštění chemického procesu soli s námrazou na pozemní komunikaci. Jejím dalším úkolem je také eliminace odlétávání soli z povrchu pozemní komunikace, způsobený odstředivou silou, případně větrem.

Podíl solanky v této směsi je 1:3. Jelikož se však spotřeba posypové směsi vozidla udává v gramech na metr je nutné převést objemovou kapacitu na kapacitu hmotnostní. K tomuto výpočtu byla použita objemová hmotnost, která u soli činí  $1\,300 \text{ kg.m}^{-3}$  a u solanky činí  $1\,198 \text{ kg.m}^{-3}$ . Výpočet kapacity je uveden v tabulce č. 4.1 a č. 4.2.

položka	hodnota	jednotka
objemová kapacita soli	4	$[\text{m}^3]$
uvažovaná objemová hmotnost soli	1 300	$[\text{kg.m}^{-3}]$
<b>hmotnostní kapacita soli</b>	<b>5 200</b>	<b>[kg]</b>

Tab. č. 4.1 Výpočet kapacity vozidla pro sůl



položka	hodnota	jednotka
kapacita solanky ve voze	2	[m <sup>3</sup> ]
hustota solanky	1 198	[kg.m <sup>-3</sup> ]
<b>kapacita solanky ve voze</b>	<b>2 396</b>	<b>[kg]</b>

Tab. č. 4.2 Výpočet kapacity vozidla pro solanku

Po vypočtení kapacit je zapotřebí znát také spotřebu jednotlivých druhů materiálu a určení maximálního teoretického dojezdu. Pro tento případ je použita běžná hodnota spotřeby směsi, která činí 20 g.bm<sup>-1</sup>. Pro výpočet teoretického možného dojezdu je použita jednotná šířka pozemní komunikace a to 5,5 metru. Provedený výpočet teoretického dojezdu je uveden v tabulce č. 4.3.

Položka	hodnota	jednotka
poměr soli ve směsi	2/3	[-]
poměr solanky ve směsi	1/3	[-]
spotřeba směsi	20	[g.m <sup>-1</sup> ]
šířka pk	5,5	[m]
spotřeba směsi bm	110	[g.bm <sup>-1</sup> ]
spotřeba směsi na 1 km	110000	[g.km <sup>-1</sup> ]
spotřeba směsi 1 km	110	[kg.km <sup>-1</sup> ]
spotřeba soli na 1km	73,33	[kg]
spotřeba solanky na 1 km	36,67	[kg]
hmotnostní kapacita soli	2688,89	[kg]
kapacita solanky ve vozidle	197185	[kg]
nájezd na 1 naložení vozidla solí	70,9091	[km]
nájezd na 1 naložení vozidla solankou	65,3455	[km]
<b>teoretický nájezd</b>	<b>65,3455</b>	<b>[km]</b>

Tab. č. 4.3 Výpočet teoretického nájezdu

Jak je z tabulky patrné, vozilo je při dojezdu omezeno nejen kapacitou soli, ale i kapacitou solanky. V tomto případě je omezujícím faktorem kapacita solanky, která dojde po 65,345 km. Rozdíl mezi možnými nájezdy v tomto případě činí cca 5,5 kilometru. Tento zbytek jízdy by se dal teoreticky dokončit již bez solanky, ale účinnost posypu by byla značně omezená, proto bude brána jako mezní hodnota pro nájezd hodnota již zmíněných 65,345 km.

Po provedení výpočtu maximálního teoretického dojezdu byl vybrán vhodný okruhu pro optimalizaci. Tento postup nelze aplikovat na každý jízdní okruh. Nelze předpokládat dosažení úspor zásadního charakteru v situaci, kdy by dopravní síť

obsluhovaných komunikací v daném okruhu měla tvar speciálního typu grafu – stromu. Z tohoto důvodu byla pozornost věnována jízdám okruhům, ve kterých není tento předpoklad splněn.

## 4.2 Experiment č. 1 – okruh ST2 CH-V

Jako výchozí podklad pro provedení prvního optimalizačního experimentu byl vybrán jízdní okruh s označením ST2 CH-V, který patří pod středisko údržby Olomouc a jeho zajišťujícím cestmistrovstvím je cestmistrovství Šternberk. Jedná se o okruh, který je udržován chemicky se zvlhčením. Celková délka obsluhovaných úseků v tomto okruhu činí 58 312 metrů. Při rozdělení této vzdálenosti na jednotlivé pořadí důležitosti se získají hodnoty uvedené v tabulce č. 4. 5.

<b>pořadí důležitosti</b>	<b>hodnota</b>	<b>jednotka</b>
I. pořadí důležitosti	30	[m]
II. pořadí důležitosti	20 954	[m]
III. pořadí důležitosti	37 328	[m]
<b>celkem</b>	<b>58 312</b>	<b>[m]</b>

Tab. č. 4.5 Délky jednotlivých pořadí důležitosti v okruhu ST2 CH-V

Podle hodnot uvedených v tabulce č. 4.5. se jedná se převážně o obsluhu pozemních komunikací patřících do III. pořadí důležitosti. Jak již bylo v předchozí kapitole, jsou prováděcí Vyhláškou č. 104/1997 Sb. upraveny časy pro zajištění sjízdnosti od výjezdu mechanismů. Tyto časy jsou uvedeny v tabulce č. 4. 6.

<b>pořadí důležitosti</b>	<b>hodnota</b>	<b>jednotka</b>
dálnice a rychlostní silnice	2	[h]
pozemní komunikace zařazené do I. pořadí důležitosti	3	[h]
pozemní komunikace zařazené do II. pořadí důležitosti	6	[h]
pozemní komunikace zařazené do III. pořadí důležitosti	12	[h]

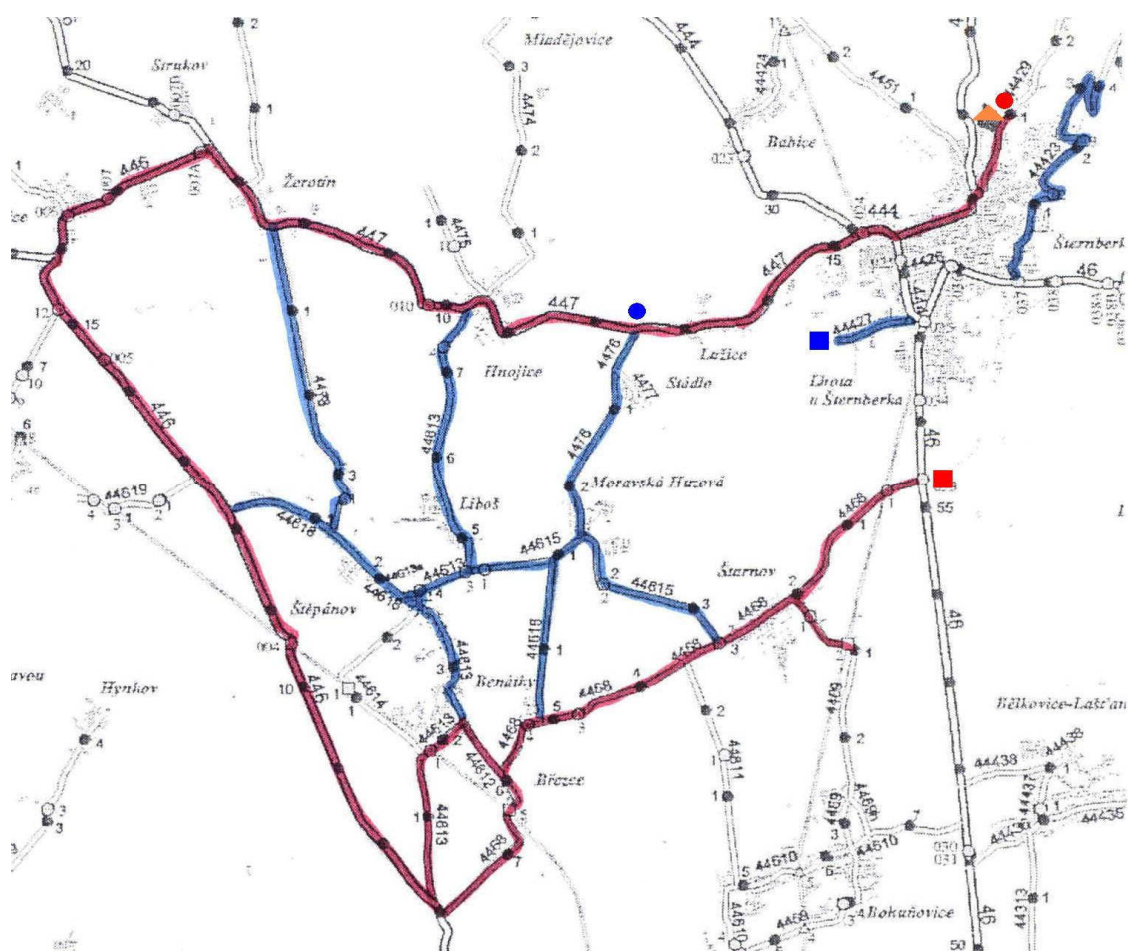
Tab. č. 4.6 Limitní časy pro zajištění sjízdnosti

Jelikož v tomto okruhu není žádná dálnice ani rychlostní silnice, je časový limit stanoven následujícím nižším pořadím důležitosti. V řešeném případě se tedy jedná o 30 metrů pozemní komunikace zařazené do I. pořadí důležitostí. Tento

úsek je sice velice krátký, nicméně i tento úsek musí být do 3 hodin sjízdný. Limitním časem pro údržbu tohoto úseku jsou již tedy zmíněné 3 hodiny.

Zpracování časové limitu při optimalizaci probíhá obdobně jako u kapacitního omezení. Při prvotním návrhu nové trasy vozidla je tato podmínka zanedbána a aplikuje se až na nově vytvořený okruh.

Pro přehlednost je uvedena mapa, získaná z mapových podkladů SSOK. Jedná se o již zmíněný okruh ST2 CH-V, který je dle výchozích podkladů obsluhován dvěma samostatnými jízdami. Schéma okruhu je znázorněno na obr. č. 4. 1.



Obr. č. 4. 1 Mapa okruhu ST2 CH-V

Oranžový trojúhelník na obrázku č. 4.1 značí sídlo cestmistrovství Šternberk a současně je i výchozím místem při obsluze tohoto okruhu. Začátek první jízdy je označen červeným kruhem a její konec červeným obdélníkem. Druhá jízda je označena modrou barvou a začátek a konec trasy jsou vyznačeny analogicky, pouze v modré barvě. Po ukončení první jízdy se vozidlo vrací zpět na

výchozí stanoviště pro doplnění soli a solanky. Po nakládce na výchozím stanovišti se vozidlo přesunuje na místo začátku druhé jízdy v tomto okruhu. Při těchto přesunech, které jsou neproduktivně najeté kilometry, se neprovádí posyp.

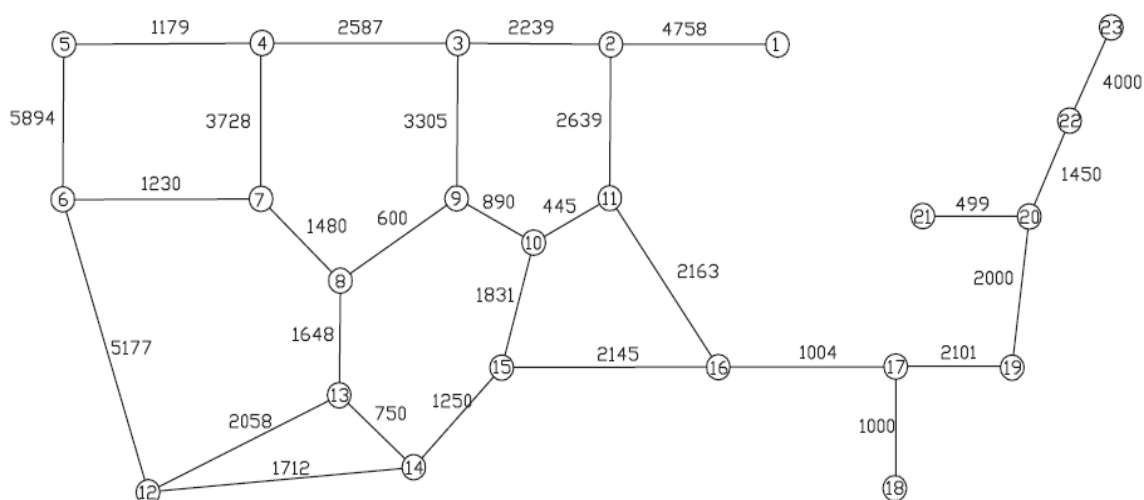
Rozpis jednotlivých jízd i se značením pozemních komunikací je uveden v tabulce č. 4. 7. Z hodnot v této tabulce je také patrné, že současná délka trvání obsluhy silniční sítě činí celkem 5 hodin.

Pořadí důležitosti	Třída sil. /č. silnice	Staničení		Celkem [km]	Posyp [km]	Pluhování [km]	Čas
		od	do				
III.	III/44429	0,85	0	0,85	0,85	0,85	2:20
II.	II/445	1,075	0	1,075	1,075	1,075	
I.	II/444	31,594	31,624	0,03	0,03	0,03	
II.	II/447	15,288	6,48	8,808	8,808	8,808	
II.	II/446	18,161	7,09	11,071	11,071	11,071	
III.	III/4468	7,991	6,5	1,491	1,491	1,491	
III.	III/44613	0	2,313	2,313	2,313	2,313	
III.	III/44612	0	0,716	0,716	0,716	0,716	
III.	III/4468	6,5	2,101	4,399	4,399	4,399	
III.	III/4469	0	1	1	1	1	
III.	III/4468	2,101	0	2,101	2,101	2,101	2:40
III.	III/4476	0	2,639	2,639	2,639	2,639	
III.	III/44615	1,335	0	1,335	1,335	1,335	
III.	III/44613	4,561	2,313	2,248	2,248	2,248	
III.	III/44616	1,831	0	1,831	1,831	1,831	
III.	III/44613a	0	0,175	0,175	0,175	0,175	
III.	III/44618	0	2,535	2,535	2,535	2,535	
III.	III/4473	3,728	0	3,728	3,728	3,728	
III.	III/44613	7,866	4,561	3,305	3,305	3,305	
III.	III/44615	1,335	3,498	2,163	2,163	2,163	
III.	III/44423	0	4	4	4	4	
III.	III/44426	0	0,499	0,499	0,499	0,499	
Celkem				58,312	58,312	58,312	5:00

Tab. č. 4.7 Rozpis okruhu ST2 CH-V

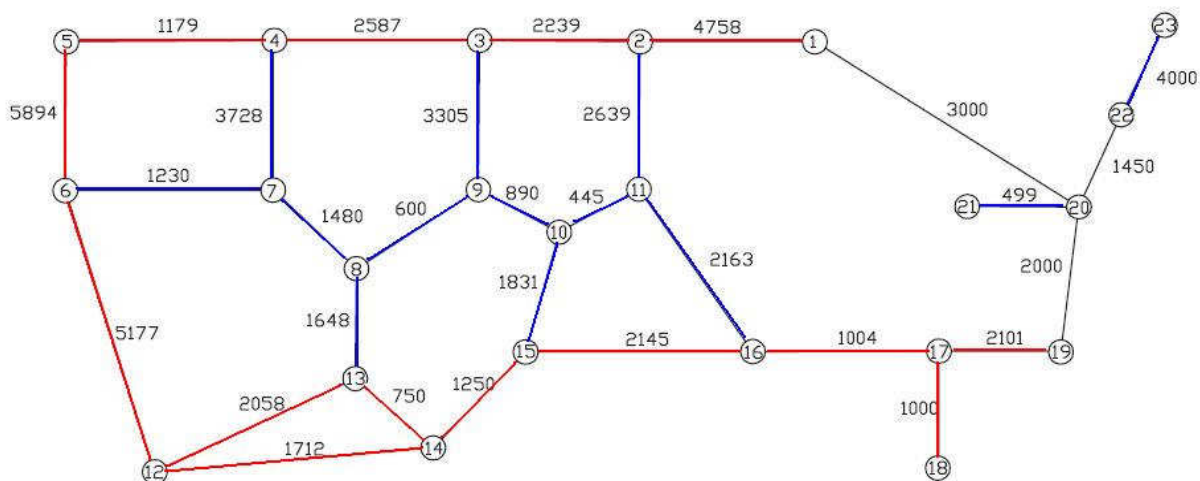
Dalším krokem při návrhu nové trasy je transformace stávající obsluhované silniční sítě na graf. Tento graf (obr. č. 4. 2) byl vytvořen pomocí určení klíčových míst, v nichž dochází k větvení udržovaných komunikací. Tyto místa představují vrcholy v grafu. Hrany mezi těmito vrcholy představují jednotlivé úseky, udržované

při obsluze. Při ohodnocování těchto hran bylo vycházeno z tabulky č.4.7 a dostupných mapových podkladů.



Obr. č. 4. 2 Dopravní síť

Současná trasa obslužného vozidla, převedená do nově vzniklého grafu je znázorněna na obrázku č. 4.3. Výchozí stanoviště obsluhy se nachází ve vrcholu č. 1, který i počátečním místem první jízdy.



Obr. č. 4. 3 Současná trasa obslužného vozidla

V tomto grafu je vidět i nově vzniklá hrana mezi vrcholem 20 a vrcholem 1. Jedná se o hranu, reprezentující úsek, z něhož je po ukončení obsluhy při druhé jízdě nejbližší umístěné výchozí stanoviště. Je to tedy finální jízda obslužného vozidla pro provedení údržby na všech udržovaných pozemních komunikacích,

sloužící pouze pro přejezd vozidla zpět na výchozí stanoviště. Tato hrana tedy musí být projeta jako poslední, a to ve směru z vrcholu 20 do vrcholu 1. Na tuto skutečnost je zapotřebí myslet při konstrukci tahu. Dále je zapotřebí upozornit na hrany mezi vrcholy 19 a 20 a dále pak mezi vrcholy 20 a 22. Tyto hrany nejsou barevně označeny. Jedná se o pozemní komunikace, které jsou pouze projížděny za účelem zajištění obsluhy hran 20 – 21 a hran 22 -23. Délka uvedených hran je již předem uvažována jako neproduktivně ujetá vzdálenost, nicméně jejich existence je v tomto grafu nutná.

Nově vzniklý graf, uvedený na obr. č. 4.1 však nesplňuje podmínky pro existenci Eulerova tahu. Ty, jak již bylo zmíněno, jsou stanoveny počtem sudých a lichých stupňů vrcholů. Z tohoto důvodu musí následovat úloha o vyhledání minimálního párování mezi všemi vrcholy lichého stupně.

#### Úloha minimálního párování

Z grafu č. 4.1 byla vytvořena matice přímých vzdáleností mezi jednotlivými vrcholy. Pro výpočet této matice byl na řešenou síť aplikován Floydův algoritmus. Výsledkem této aplikace byla matice vzdáleností mezi jednotlivými vrcholy. Tato matice je přiložena v příloze A.

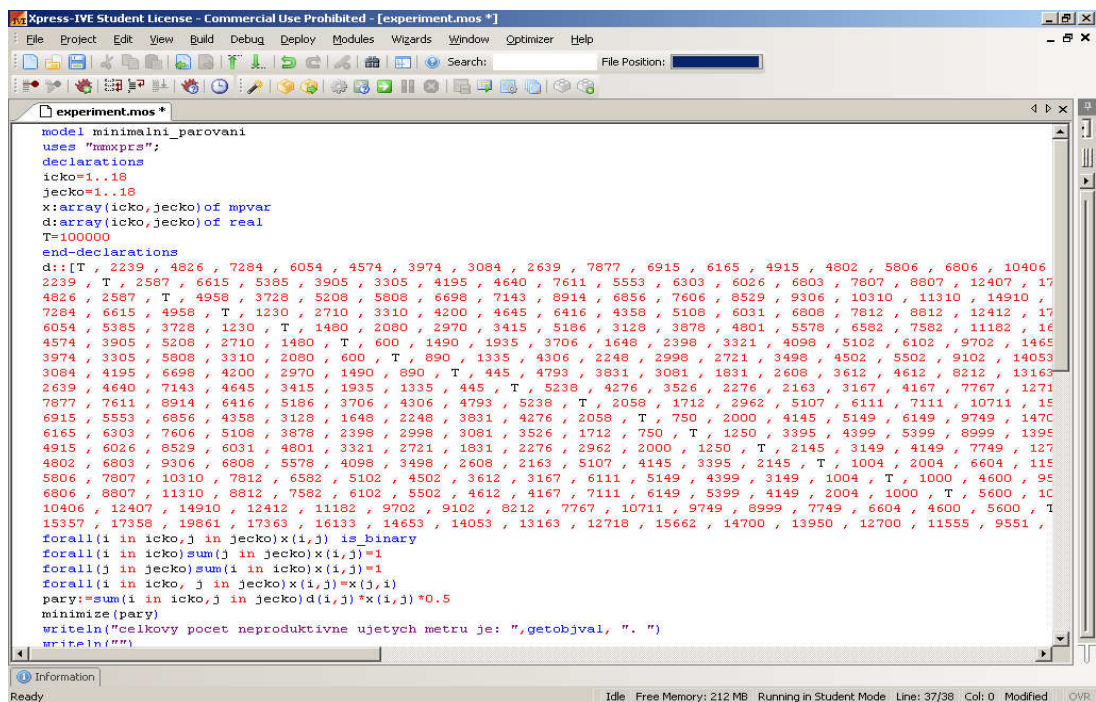
Z takto získané matice budou pro potřeby párování vrcholů lichých stupňů vyloučeny všechny vrcholy sudého stupně. Jmenovitě vrcholy 1, 5, 19, 20 a 22. Tím vznikne nová matice, která bude výchozím podkladem pro optimalizační výpočet provedený v dostupném optimalizačním software Xpress-IVE (obr. č. 4.4). Označení vrcholů v optimalizačním výpočtu tak bude posunuto ve srovnání s původním označením. Po ukončení optimalizačního výpočtu a zpětné interpretaci nesmí být změna v číslování opomenuta.

Přeznačení vrcholů pro potřeby optimalizačního výpočtu – úlohy o vyhledání minimálního párování je uvedeno v tab. č. 4.8.

původní označení vrcholu	číslo vrcholu v modelu
1	odstraněn
2	1
3	2
4	3
5	odstraněn
6	4
7	5
8	6
9	7
10	8
11	9
12	10
13	11
14	12
15	13
16	14
17	15
18	16
19	odstraněn
20	odstraněn
21	17
22	odstraněn
23	18

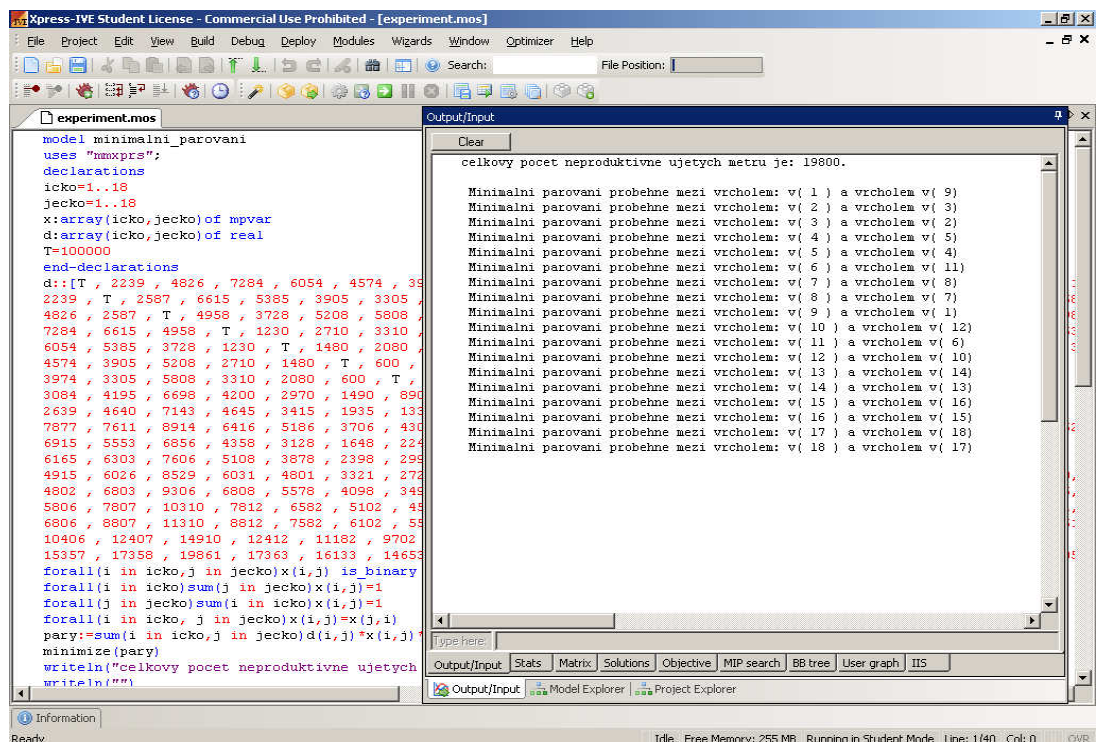
Tab.č. 4.8 Přeznačení vrcholů v souvislosti s optimalizačním výpočtem





Obr. č. 4.4 Ukázka pracovního prostředí optimalizačního software Xpress-IVE

Po transformaci matematického modelu do textu programu se zahájí optimalizační výpočet, po jehož ukončení budou vypsány výsledky. Požadavek na výpisy musí být přímo uveden v textu programu.



Obr. č. 4.5 Výstup programu XPRESS IVE



celkový počet neproduktivně ujetých metrů je: 19800.

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(1)$  a vrcholem  $v(9)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(2)$  a vrcholem  $v(3)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(3)$  a vrcholem  $v(2)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(4)$  a vrcholem  $v(5)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(5)$  a vrcholem  $v(4)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(6)$  a vrcholem  $v(11)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(7)$  a vrcholem  $v(8)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(8)$  a vrcholem  $v(7)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(9)$  a vrcholem  $v(1)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(10)$  a vrcholem  $v(12)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(11)$  a vrcholem  $v(6)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(12)$  a vrcholem  $v(10)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(13)$  a vrcholem  $v(14)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(14)$  a vrcholem  $v(13)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(15)$  a vrcholem  $v(16)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(16)$  a vrcholem  $v(15)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(17)$  a vrcholem  $v(18)$

Minimalní párování proběhne mezi vrcholem:  $v(18)$  a vrcholem  $v(17)$

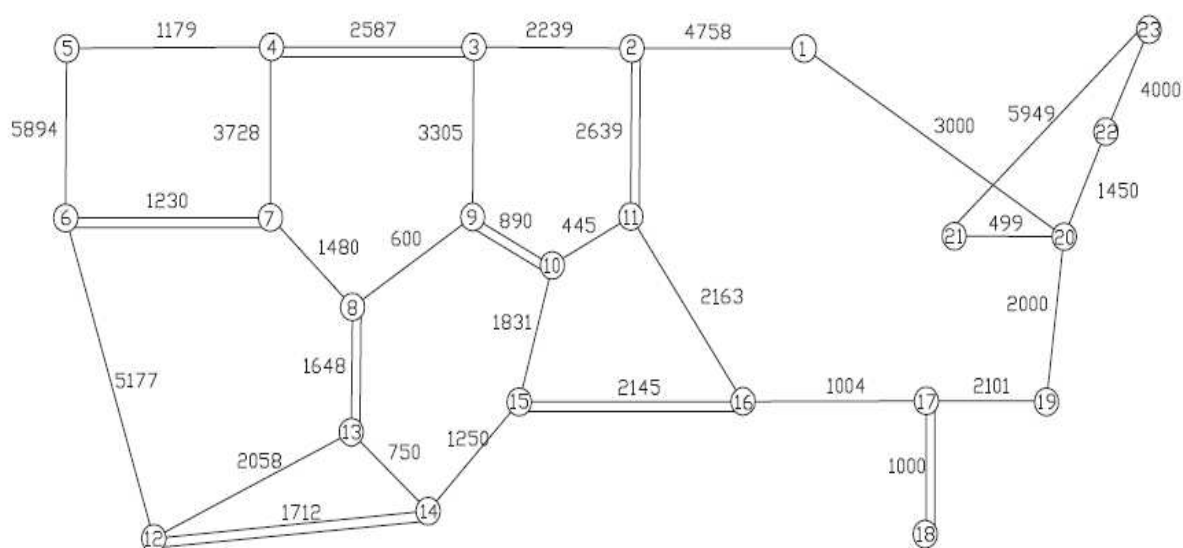
Po ukončení optimalizačního výpočtu jsou k dispozici dvojice vrcholů, které byly párovány. Označení vrcholů z optimalizačního výpočtu je nutno transformovat zpět na původní označení. Tento převod je znázorněn v tabulce č. 4.9.

výsledek úlohy o minimálním párování		
číslo páru	spárované vrcholy v modelu	spárované vrcholy v původním značení
1.	1-9	2-11
2.	2-3	3-4
3.	3-2	4-3
4.	4-5	6-7
5.	5-4	7-6
6.	6-11	8-13
7.	7-8	9-10
8.	8-7	10-9
9.	9-1	11-2
10.	10-12	12-14
11.	11-6	13-8
12.	12-10	14-12
13.	13-14	15-16
14.	14-13	16-15
15.	15-16	17-18
16.	16-15	18-17
17.	17-18	21-23
18.	18-17	23-21

Tab.č. 4.9 Interpretace získaného řešení

Na základě optimalizačního výpočtu – vyřešení úlohy o minimálním párování vrcholů lichého stupně bylo zjištěno, že celková vzdálenost, kterou ujede vozidlo neproduktivně činí 19 800 metrů.

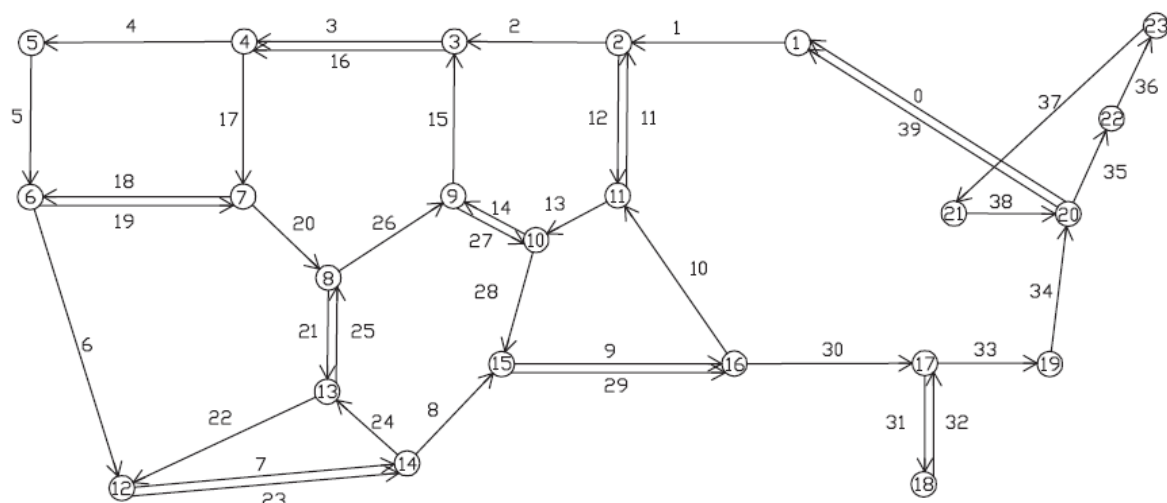
Po transformaci vrcholů byl překreslen výchozí graf, který byl doplněn o nově vzniklé hrany (obr. č. 4. 6).



Obr.č. 4. 6 Síť se zakreslením neproduktivně ujetých vzdáleností

V tomto nově vytvořeném grafu jsou již všechny vrcholy stupně sudého. Je tedy možné přistoupit ke konstrukci tahu. Ještě před samotnou konstrukcí je zapotřebí uvědomit si, že konstrukce tahu musí být zahájena ve vrcholu č. 1 a musí končit ve vrcholu č. 20. K tomu lze využít poznatku o konstrukci Eulerova tahu, který udává, že pokud jsou všechny vrcholy stupně sudého, začíná i končí tah ve stejném vrcholu. V případě existence právě 2 vrcholů stupně lichého, začíná Eulerův tah v jednom z těchto vrcholů a končí ve druhém vrcholu stupně lichého. Protože druhý případ přichází v úvahu, bude z tohoto důvodu do grafu přidána fiktivní hrana mezi vrchol č. 1 a vrchol č. 20. Tato hrana bude mít nulové ohodnocení a bude do tahu zařazena jako první. Její pořadí je označeno číslem 0.

Jelikož původně první okruh obsahuje pozemní komunikace spadající do vyššího pořadí důležitosti, bude při navrhování tahu tato informace zohledněna. Při návrhu budou tedy silnice s vyšším pořadím důležitosti zařazovány dříve, než pozemní komunikace s nižším pořadím důležitosti. Je to z důvodu již zmíněného časového limitu. Ovšem jejich upřednostňování bude prováděno pouze za předpokladu, že to bude technicky možné a ekonomicky výhodné. Ve své podstatě bude první část tahu kopírovat původní první jízdu.



Obr.č.4. 7 Nově vzniklý tah

Na obrázku č. 4. 7 je uveden sestrojený tah s vyznačením pořadí obsluhovaných hran. Tah začíná ve vrcholu 20 a pokračuje do vrcholu 1. Hrana mezi těmito vrcholy má ohodnocení 0, jak již bylo zmíněno, jedná se pouze o fiktivní hranu, která slouží pouze pro zajištění správného začátku a konce obsluhy.

Po ukončení konstrukce tahu lze sestavit seznam obsluhovaných hran včetně jejich délek, viz tabulka č. 4. 10.

Pořadí obsluhovaného úseku	Ujetá délka při navrženém řešení	Ujetá délka při současném řešení	Jednotka
1	4758	850	[m]
2	2239	1075	[m]
3	2587	30	[m]
4	1179	8808	[m]
5	5894	11071	[m]
6	5177	1491	[m]
7	1712	1491	[m]
8	1250	2313	[m]
9	2145	716	[m]
10	2163	4399	[m]
11	2639	1000	[m]
12	2639	1000	[m]
13	445	2101	[m]
14	890	5000	[m]
15	3305	4758	[m]
16	2587	2639	[m]
17	3728	1335	[m]
18	1230	2248	[m]
19	1230	1200	[m]
20	1480	1831	[m]
21	1648	1590	[m]
22	2058	2710	[m]
23	1712	1230	[m]
24	750	3728	[m]
25	1648	2587	[m]
26	600	3305	[m]
27	890	1335	[m]
28	1831	2163	[m]
29	2145	6555	[m]
30	1004	4000	[m]
31	1000	5450	[m]
32	1000	499	[m]
33	2101	499	[m]
34	2000	3000	[m]
35	1450		[m]
36	4000		[m]
37	5949		[m]
38	499		[m]
39	3000		[m]
<b>celkem</b>	<b>84562</b>	<b>94007</b>	[m]
<b>celkem</b>	<b>84,562</b>	<b>94,007</b>	[km]
<b>Neproduktivně ujetá vzdálenost</b>	<b>26250</b>	<b>35695</b>	[m]
<b>Délka sítě</b>	<b>58312</b>	<b>58312</b>	[m]
<b>Teoretická doba obsluhy</b>	<b>2,819</b>	<b>3,134</b>	[h]

Tab.č. 4. 10 Výsledky prvního experimentu

Tabulka č. 4. 10 se skládá ze čtyř sloupců. V prvním sloupci je uvedeno pořadí úseků obsluhovaných v dopravní síti. Ve druhém sloupci jsou uvedeny délky úseků projížděných podle stanoveného pořadí. Třetí sloupec uvádí situaci při původním stavu obsluhy. Čtvrtý sloupec poté udává jednotku, ve které jsou údaje uvedeny. Hodnoty, které jsou v tabulce uvedeny modře, představují neproduktivně ujetou vzdálenost, která má být co nejnižší.

Tedy např. při současném způsobu obsluhy projíždí vozidlo první úsek o délce 850 m (projíždí jej aktivně), při navrženém způsobu obsluhy, měří první úsek projížděný vozidlem 4 758 m (opět je aktivně obsluhován).

Jak je vidět v tabulce výsledků, navržený způsob obsluhy způsobí nájezd 84 562 metrů na jednu provedenou údržbu. Původním plánem bylo najeto 97 007 metrů. Úspora tedy činí 9 445 metrů při každé obsluze okruhu.

Další položkou vypočtenou v posledním řádku tabulky je doba obsluhy. Do výpočtu vstupuje celková najetá vzdálenost a průměrná rychlost, předpokládá se, že průměrná rychlost, vzhledem k průběhu jízdy, činí  $30 \text{ km.h}^{-1}$ .

Na takto získaný výsledek se aplikují předchozí podmínky, které byly při návrhu trasy vynechány. Jedná se kapacitní a časové podmínky.

Na začátku kapitoly byl vypočítán teoretický možný nájezd na jedno naplnění posypovým materiálem. Při použití daného údržbového vozidla s kapacitou  $4 \text{ m}^3$  soli a  $2 \text{ m}^3$  solanky je při standardní aplikaci posypového materiálu  $20 \text{ g.m}^{-1}$  vozidlo schopno teoreticky obsloužit posypem 65 345,5 metrů pozemních komunikací. Délka udržovaného okruhu, bez neproduktivních metrů činí 58 312 metrů. Tato podmínka tedy splněna je.

Druhou podmínkou bylo časové omezení, které se stanovuje pro každé pořadí důležitosti. V daném okruhu se nachází pozemní komunikace zařazená do I. pořadí důležitosti. Limitní čas pro zajištění sjízdnosti tedy činí 3 hodiny. Pokud by byl navržený okruh obsluhován průměrnou rychlostí  $30 \text{ km.h}^{-1}$ , jeho údržba by trvala 2,819 hodiny. Navíc úsek I. pořadí důležitosti je zařazen hned na začátek konstruovaného tahu. K jeho obsluze tedy dojde mnohem dříve, než za avizovaných 2,819 hodiny. Po údržbě této části sítě jsou v okruhu zařazeny již pouze silnice nižších pořadí důležitosti, a tudíž se limitní doba pro jejich údržbu

posouvá k hranici 6, případně až 12 hodin. Časové hledisko tedy splněno rovněž je.

Bylo tedy zjištěno, že realizací navrženého způsobu obsluhy lze v zadaném segmentu sítě dosáhnout úspory ve výši 9 445 m na jednu obsluhu.

#### 4.3 Experiment č. 2 – okruh PV1 CH-V

Pro druhý optimalizační experiment byl zvolen okruh PV1 CH-V, který zajišťuje středisko údržby Jih a jeho cestmistrovství Prostějov. Jedná se o okruh, který je také udržován chemickou směsí soli a solanky. Celková délka tohoto okruhu činí 70 962 metrů.

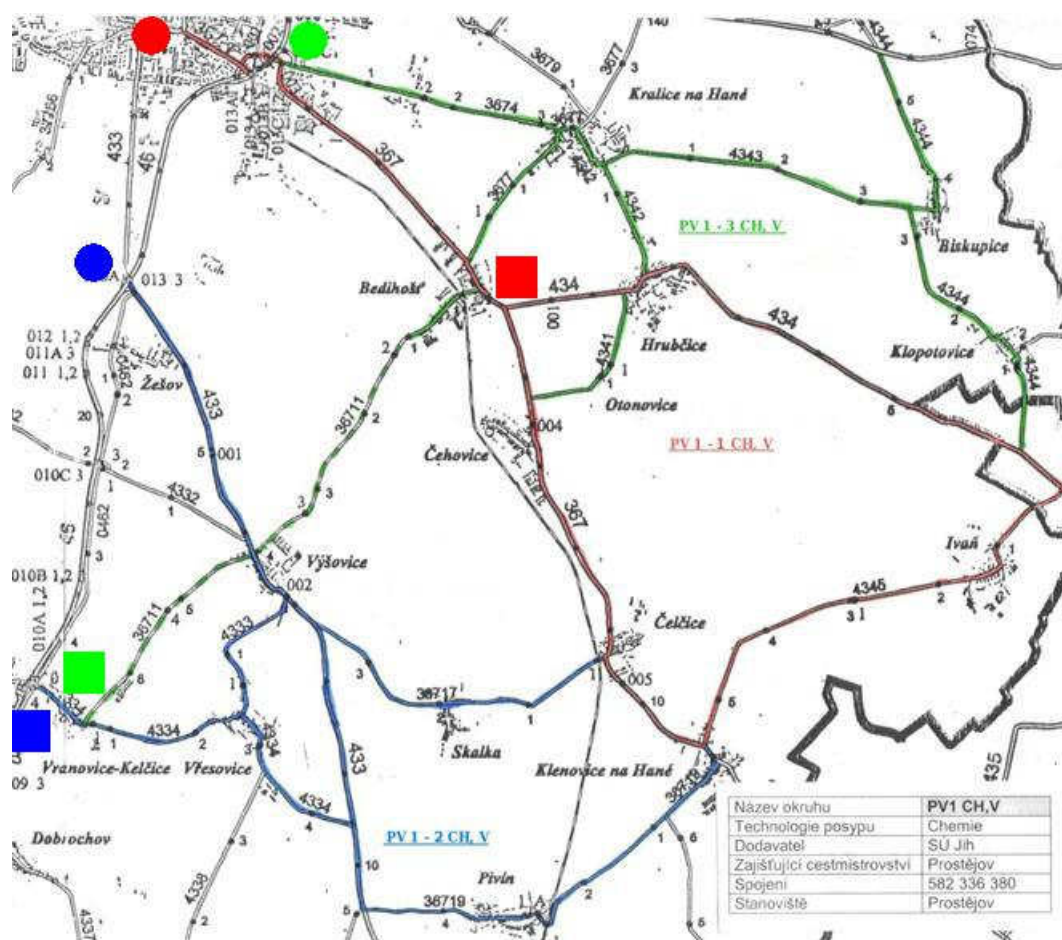
<b>pořadí důležitosti</b>	<b>hodnota</b>	<b>jednotka</b>
I. pořadí důležitosti	0	[m]
II. pořadí důležitosti	25 490	[m]
III. pořadí důležitosti	45 472	[m]
<b>celkem</b>	<b>70 962</b>	<b>[m]</b>

Tab.č.4.11 Délky jednotlivých pořadí důležitosti v okruhu PV1 CH-V

V řešeném okruhu tedy není na rozdíl od předchozího okruhu obsažena žádná pozemní komunikace spadající do I. pořadí důležitosti (tab. č. 4.11). Limitním časem pro obsluhu tohoto úseku je tedy podle prováděcí vyhlášky MDS 104/1997 Sb. 6 hodin.

Původní obsluha okruhu PV1 CH-V je rozdělena na 3 samostatné jízdy, přičemž po každém provedení jednotlivé jízdy se údržbové vozidlo vrací zpět na stanoviště, za účelem doplnění posypového materiálu.

V předchozí části diplomové práce byl vypočítán maximální teoretický dojezd posypového vozidla. Při porovnání tohoto dojezdu s délkou okruhu je zřejmé, že maximální teoretický dojezd je nižší než délka nově vzniklého okruhu. Tuto skutečnost však prozatím zanedbáme a jejímu řešení bude věnována pozornost až po skončení optimalizačního výpočtu.



Obr. č. 4.8 Mapa okruhu PV1 CH-V

Na obrázku č. 4. 8 je zobrazen současný stav obsluhy okruhu PV1 CH-V. Jak již bylo zmíněno, současná obsluha se skládá ze tří samostatných jízd, znázorněných různou barvou. První jízda je znázorněna červenou barvou, druhá modrou a poslední jízdu znázorňuje barva zelená. Analogicky k uvedeným barvám, jsou v mapě znázorněny začátky jednotlivých jízd kruhem a jejich konce obdélníkem. V mapě není znázorněno stanoviště cestmistrovství Prostějov. To se nachází ve vzdálenosti 2 300 metrů na sever od výchozího místa první jízdy.

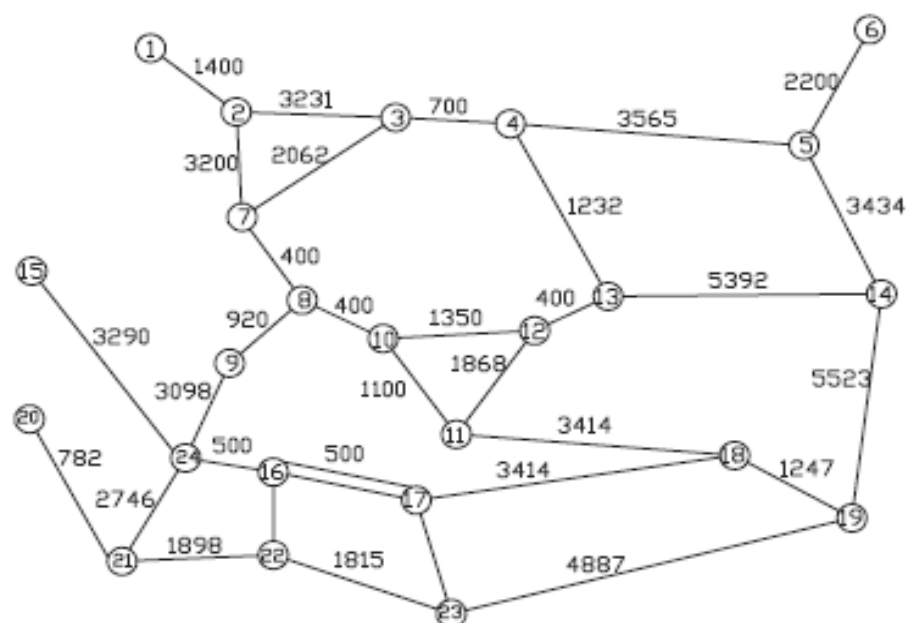


Pořadí důležitosti	Třída sil. /č.silnice	Staničení		Celkem Km	Posyp km	Pluhování km	čas
		od	do				
II.	II/367	0	10,847	10,847	10,847	10,847	
III.	III/4345	5,523	0	5,523	5,523	5,523	
II.	II/434	7,142	0	7,142	7,142	7,142	1:25
II.	II/433	2,998	10,499	7,501	7,501	7,501	
III.	III/36719	4,887	0	4,887	4,887	4,887	
III.	III/36717	0	3,761	3,761	3,761	3,761	
III.	III/4333	0	1,732	1,732	1,732	1,732	
III.	III/4334	0	4,513	4,513	4,513	4,513	1:35
III.	III/3674	0	3,231	3,231	3,231	3,231	
III.	III/4342	1,932	0	1,932	1,932	1,932	
III.	III/4341	0	1,868	1,868	1,868	1,868	
III.	III/4343	0	3,565	3,565	3,565	3,565	
III.	III/4344	5,634	0	5,634	5,634	5,634	
III.	III/3677	2,062	0	2,062	2,062	2,062	
III.	III/36711	0	0,92	0,92	0,92	0,92	
III.	III/36711	0,92	6,764	5,844	5,844	5,844	1:40
celkem				70,962	70,962	70,962	4:40

Tab.č.4.12 Rozpis okruhu PV1 CH-V

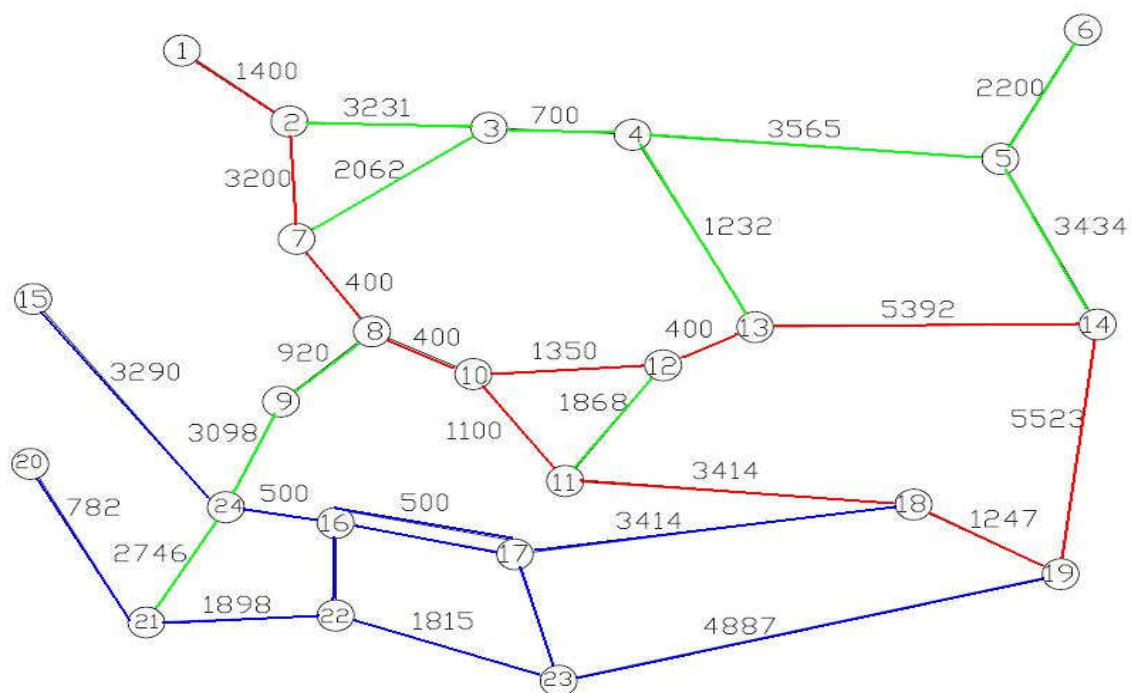
V tabulce č. 4.12 je uveden současný stav obsluhy daného okruhu. Jak je z tabulky patrné, jsou pozemní komunikace spadající do II. pořadí důležitosti zařazeny do první, respektive na začátek druhé jízdy. Je to z důvodu časových limitů. Ty jsou sice prováděcí vyhláškou stanoveny na 6 hodin, nicméně při návrhu jízd je doporučeno počítat s přibližně polovičními časovými limity.

Mapa uvedená na obr. č. 4.8 byla opět transformována na graf. Jednotlivé hodnoty pro ohodnocení hrany byly opět získány pomocí mapových podkladů a známé trasy vozidel včetně staničení.



Obr.č. 4.9 Nově vzniklý graf dopravní sítě

Jak je z grafu na obr. č. 4.10 patrné, je pozemní komunikace mezi vrcholy číslo 16 a 17 spadající do II. pořadí důležitosti obsluhována dvakrát během jedné jízdy. V obou dvou případech se jedná produktivní kilometry. Hrana proto bude i v dalším návrhu projížďena dvakrát. Z tohoto důvodu byla i do grafu tato hrana uvedena jako násobná hrana.



Obr.č. 4.10 Současná trasa obslužného vozidla

Na obrázku č. 4.11 je zakreslena současná trasa obslužného vozidla, podle platného itineráře trasy okruhu PV1 CH - V. Barevné značení tras je shodné s výchozím značením, uvedeném v obr. č. 4. 10.

Jako kontrolu správnosti grafu lze použít porovnání ujetých vzdáleností původních jízd. Porovnávat budeme celkové ujeté vzdálenosti jednotlivých jízd. Vstupní údaje budou hodnoty z itineráře jízd a vzdálenosti uvedené v grafu (tab. č. 4.12).

	vzdálenost v itineráři [m]	vzdálenost v grafu [m]
1. jízda	23512	23512
2. jízda	22394	22394
3. jízda	25056	25056

Tab. č. 4.13. Komparace délek jízd

Výsledky, které vyšly porovnáním obou hodnot jsou stejné (tab. č. 4.13). Je to způsobeno tím, že nově navrhovaná trasa vozidla musí obsloužit stejné komunikace jako stávající plán. Rozdíl je pouze v trase a tím způsobených neproduktivních kilometrech.

Po kontrole správnosti nově vzniklého grafu je potřeba tento graf podrobit kontrole na splnění podmínek Eulerova tahu. Při této kontrole bylo opět zjištěno, že podmínky pro konstrukci Eulerova tahu splněny nejsou. V grafu nejsou všechny vrcholy stupně sudého, nebo právě dva vrcholy stupně lichého. Proto před konstrukcí obslužných jízd přistoupíme k úloze o minimálním párování. Opět bude použit optimalizační software Xpress-IVE. Z matematického modelu budou pro výpočet odstraněny vrcholy sudého stupně č. 9, 16, 17 a 24, viz tab. č. 4.14.

původní číslo vrcholu	číslo vrcholu v modelu
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	odstraněn
10	9
11	10
12	11
13	12
14	13
15	14
16	odstraněn
17	odstraněn
18	15
19	16
20	17
21	18
22	19
23	20
24	odstraněn

Tab.č.4.14 Přeznačení vrcholů v souvislosti s optimalizačním výpočtem

celkový počet neproduktivně ujetých metrů je: 21871.

Minimalní parování proběhne mezi vrcholem:  $v(1)$  a vrcholem  $v(2)$

Minimalní parování proběhne mezi vrcholem:  $v(2)$  a vrcholem  $v(1)$

Minimalní parování proběhne mezi vrcholem:  $v(3)$  a vrcholem  $v(4)$

Minimalní parování proběhne mezi vrcholem:  $v(4)$  a vrcholem  $v(3)$

Minimalní parování proběhne mezi vrcholem:  $v(5)$  a vrcholem  $v(6)$

Minimalní parování proběhne mezi vrcholem:  $v(6)$  a vrcholem  $v(5)$

Minimalní parování proběhne mezi vrcholem:  $v(7)$  a vrcholem  $v(8)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(8)$  a vrcholem  $v(7)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(9)$  a vrcholem  $v(10)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(10)$  a vrcholem  $v(9)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(11)$  a vrcholem  $v(12)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(12)$  a vrcholem  $v(11)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(13)$  a vrcholem  $v(16)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(14)$  a vrcholem  $v(15)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(15)$  a vrcholem  $v(14)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(16)$  a vrcholem  $v(13)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(17)$  a vrcholem  $v(18)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(18)$  a vrcholem  $v(17)$

Minimalni parovani probekne mezi vrcholem:  $v(20)$  a vrcholem  $v(19)$

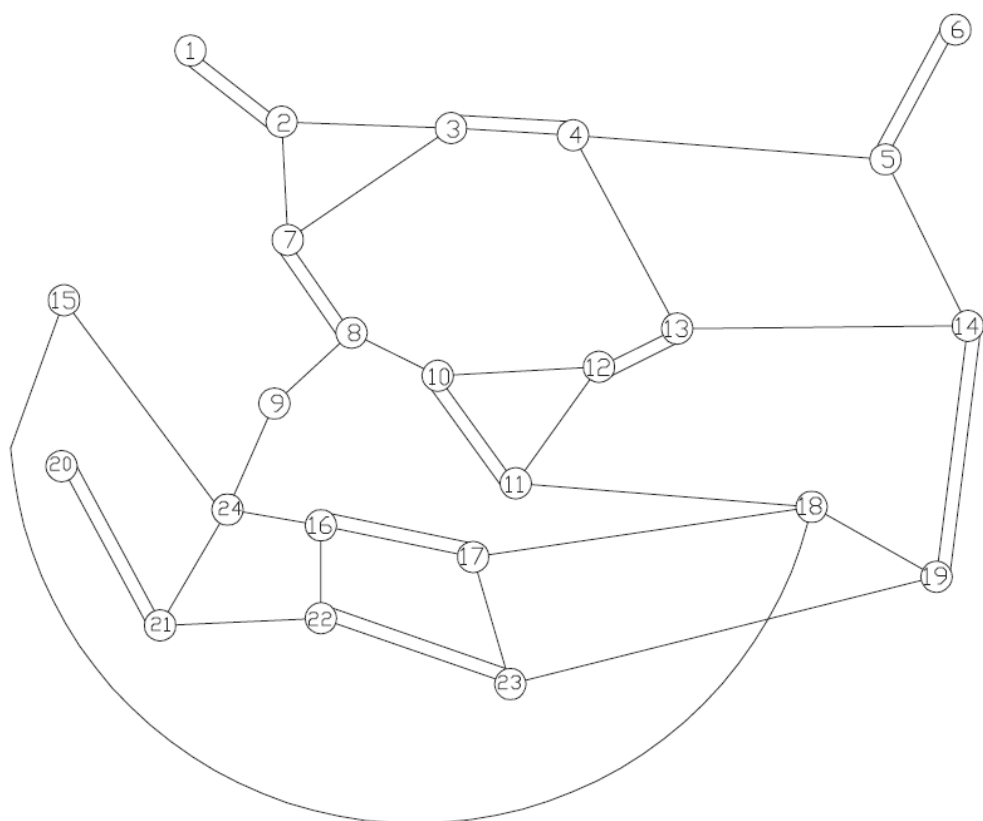
Po ukončení optimalizačního výpočtu jsou k dispozici dvojice vrcholů, které byly párovány. Označení vrcholů z optimalizačního výpočtu je nutno transformovat zpět na původní označení. Tento zpětný převod je znázorněn v tabulce č. 4. 15.

výsledek párování v modelu		
číslo páru	spárované vrcholy v modelu	spárované vrcholy v původním značení
1.	1-2	1-2
2.	2-1	2-1
3.	3-4	3-4
4.	4-3	4-3
5.	5-6	5-6
6.	6-5	6-5
7.	7-8	7-8
8.	8-7	8-7
9.	9-10	10-11
10.	10-9	11-10
11.	11-12	12-13
12.	12-11	13-12
13.	13-16	14-19
14.	14-15	19-14
15.	15-14	15-18
16.	16-13	18-15
17.	17-18	20-21
18.	18-17	21-20
19.	19-20	22-23
20.	20-19	23-22

Tab. č. 4.15 Transformace vrcholů zpět na původní číslování

Na základě optimalizačního výpočtu – vyřešení úlohy o minimálním párování vrcholů lichého stupně bylo zjištěno, že celková vzdálenost, kterou ujede vozidlo neproduktivně činí 21 871 metrů. Do této vzdálenosti však ještě není započítána neproduktivně ujetá vzdálenost při jízdě na cestmistrovství pro doplnění posypového materiálu.

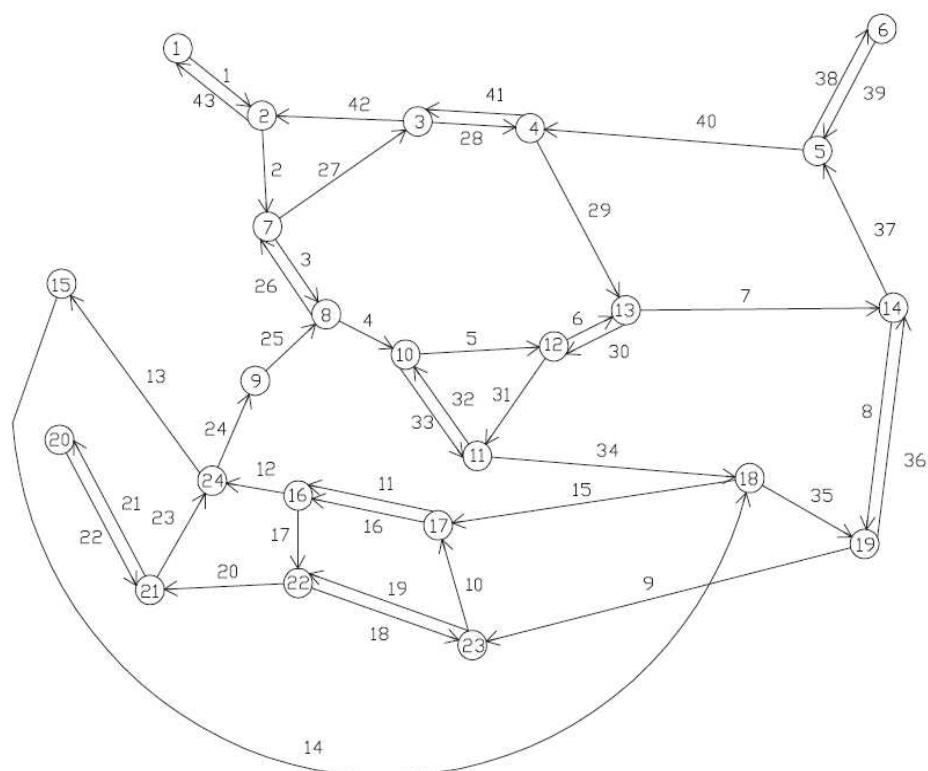
Po transformaci vrcholů byl překreslen výchozí graf, který byl doplněn o nově vzniklé hrany (obr. č. 4. 11).



Obr.č. 4.11 Síť vzniklá po minimálním párování

Z grafu (obr. č. 4.11) je zřejmé, že v této chvíli jsou již všechny vrcholy sudého stupně. Může být tedy přistoupeno k tvorbě tahu. Nejprve je zapotřebí zodpovědět otázku, v jakém bodě má tah začínat, a ve kterém bodě končit. Toto místo je zapotřebí zvolit vhodně. Jelikož cílem optimalizace je minimální počet najetých neproduktivních kilometrů, musí být dané místo umístěno co nejbližší k výchozímu stanovišti, kterým je v případě řešeného okruhu cestmistrovství v Prostějově. Nejbližší vrchol od toho místa je vrchol č. 1. Vzdálenost cestmistrovství od tohoto vrcholu činí 2 300 metrů. V tomto vrcholu tedy započneme konstrukci tahu. Bylo by výhodné, aby v tomto vrcholu tah i končil. Zde lze opět využít poznatků o konstrukci uzavřeného Eulerova tahu.

Dále se také zaměříme jednotlivé pozemní komunikace a jejich zařazení do pořadí důležitosti. Jak již bylo uvedeno, silnice s vyšším pořadím důležitosti byly zařazeny do první a druhé obslužné jízdy. Z tohoto důvodu zařadíme tyto pozemní komunikace do tahu co možná nejdříve, pokud to bude z hlediska konstrukce tahu technicky možné.



Obr.č. 4.13 Nově vzniklý tah

Nyní je zapotřebí provést komparaci výsledků, kterých bylo dosaženo pomocí tahu (obr. č. 4.13) a původních hodnot. Vše je pro přehlednost uvedeno v tabulce č. 4.16.



krok	ET	původní	jednotka
0	2300	2300	[m]
1	1400	1400	[m]
2	3200	3200	[m]
3	400	400	[m]
4	400	400	[m]
5	1350	1100	[m]
6	400	3100	[m]
7	5392	1247	[m]
8	5523	5523	[m]
9	4887	5392	[m]
10	3211	400	[m]
11	500	1350	[m]
12	500	400	[m]
13	3290	400	[m]
14	7551	3200	[m]
15	3261	1400	[m]
16	500	2300	[m]
17	1750	5200	[m]
18	1815	3290	[m]
19	1815	500	[m]
20	1898	500	[m]
21	782	3211	[m]
22	782	4887	[m]
23	2746	1247	[m]
24	3098	3261	[m]
25	920	500	[m]
26	400	1750	[m]
27	2062	1815	[m]
28	700	1815	[m]
29	1232	1898	[m]
30	400	782	[m]
31	1868	9900	[m]
32	1100	3700	[m]
33	1100	3231	[m]
34	3100	1932	[m]
35	1247	400	[m]
36	5523	1868	[m]
37	3434	3500	[m]
38	2200	3565	[m]
39	2200	5634	[m]
40	3565	4265	[m]
41	700	2062	[m]
42	3231	400	[m]
43	1400	920	[m]
44	2300	5844	[m]
45		10682	[m]
<b>celkem</b>	<b>97433</b>	<b>122071</b>	<b>[m]</b>
<b>celkem</b>	<b>97,433</b>	<b>122,071</b>	<b>[km]</b>
<b>neproduktivní</b>	<b>26 471</b>	<b>51 109</b>	<b>[m]</b>
<b>délka sítě</b>	<b>70 962</b>	<b>70 962</b>	<b>[m]</b>
<b>teoretická doba obsluhy</b>	<b>3,247</b>	<b>4,069</b>	<b>[h]</b>

tab. č. 4.16 Výsledky druhého experimentu

V tabulce č. 4.16 jsou uvedeny výsledky optimalizace ve struktuře známé z tabulky č. 4.10. První sloupec představuje číslo úseku v sestaveném tahu, druhý sloupec ujetou vzdálenost v navrženém řešení a třetí sloupec uvádí nájezd při použití původního plánu složeného v současnosti ze tří samostatných jízd. Tabulka je opět zakončena čtvrtým sloupcem udávajícím hodnoty, v nichž jsou výsledky uvedeny jednotky. Modrá čísla v druhém a třetím sloupci udávají neproduktivně ujetou vzdálenost. Ve druhém sloupci je uveden krok 0. Tento krok udává nutnost přejezdu z výchozího cestmistrovství na místo začátku obsluhy a jeho délka je rovna již zmíněným 2 300 m. V posledním kroku tahu je také uvedena tato neproduktivní vzdálenost. Ta, analogicky, udává nutnost návratu na cestmistrovství pro doplnění posypového materiálu.

Při obsluze silniční sítě pomocí nově vzniklého návrhu dojde k celkovému nájezdu 97 433 m na jeden okruh obsluhy oproti původním 122 071 m. Vzdálenost ujetá na základě zkonstruovaného tahu, tedy již uvedených 97 433 metrů, představuje vzdálenost od odjezdu z cestmistrovství až po opětovný návrat zpět. Délka obsluhovaných úseků je předem dána. Celková neproduktivně ujetá vzdálenost v tomto případě činí 26 471 m. To je při komparaci s původním stavem přibližně polovina neproduktivního nájezdu.

V této fázi řešení musí být na nově vzniklou trasu opět aplikovány podmínky, které byly původně vynechány. Jedná se o splnění časového limitu a kapacitního omezení vozidla.

Při pohledu na teoretickou dobu obsluhy, uvedenou v tabulce, dostáváme hodnotu 3,24 h. Tato hodnota je vypočtena analogicky jako v předchozím případě pomocí celkové ujeté vzdálenosti a uvažované technické rychlosti. Tato rychlost je vzhledem k druhu prováděné práce stanovena na  $30 \text{ km.h}^{-1}$ . Jelikož se v tomto okruhu nacházejí pouze pozemní komunikace II. a III. pořadí důležitosti, je limitním časem 6 nebo 12 hodin. Jak již bylo zmíněno, je vhodné při návrhu vycházet s polovičními limity těchto časů. Konfrontací doby potřebné k obsluze sítě s limitními dobami stanovenými legislativou a navrženého řešení je zřejmé, časovou podmínku lze považovat za splněnou.

Druhou podmínkou je kapacita posypového materiálu, které vozidlo uveze. Již před začátkem optimalizace tohoto okruhu bylo uvedeno, že vozidlo, které bylo

použito při předchozí optimalizaci je nevyhovující z hlediska kapacity. Jednalo se o vozidlo s kapacitou 4 m<sup>3</sup> soli a 2 m<sup>3</sup> solanky. Nicméně SSOK má k dispozici více vozidel o různých kapacitách. Pro tento okruh tedy bude nasazeno vozidlo o větší kapacitě. Nově zvolené vozidlo má kapacitu 5 m<sup>3</sup> soli a 2,5 m<sup>3</sup> solanky. Při použití tohoto vozidla musí být proveden přepoččet na hmotnostní kapacitu. Tento přepoččet je uveden v tab. č. 4.17. a tab. č. 4.18

položka	hodnota	jednotka
objemová kapacita soli	5	[m <sup>3</sup> ]
uvažovaná objemová hmotnost soli	1300	[kg.m <sup>-3</sup> ]
<b>hmotnostní kapacita soli</b>	<b>6500</b>	<b>kg</b>

Tab. č. 4.17 Výpočet kapacity vozidla pro sůl

položka	hodnota	jednotka
kapacita solanky ve voze	2,5	[m <sup>3</sup> ]
hustota solanky	1198	[kg.m <sup>-3</sup> ]
<b>kapacita solanky ve voze</b>	<b>2995</b>	<b>[kg]</b>

Tab.č. 4.18 Výpočet kapacity vozidla pro solanku

Po zjištění hmotnostní kapacity nově zvoleného vozidla pro údržbu pozemních komunikací zařazených do tohoto okruhu lze přejít k výpočtu maximálního teoretického dojezdu na jednu nakládku posypového materiálu. Postup je stejný, jako u předchozího experimentu. Mění se pouze kapacity vozidla pro sůl a solanku.

položka	hodnota	jednotka
poměr soli ve směsi	2/3	[-]
poměr solanky ve směsi	1/3	[-]
spotřeba směsi	20	[g.m <sup>-1</sup> ]
šířka pk	5,5	[m]
spotřeba směsi na bm	110	[g.bm <sup>-1</sup> ]
spotřeba směsi na 1 km	110000	[g.km <sup>-1</sup> ]
spotřeba směsi 1 km	110	[kg.km <sup>-1</sup> ]
spotřeba soli na 1 km	73,33	[kg]
spotřeba solanky na 1 km	36,67	[kg]
hmotnostní kapacita soli	2688,89	[kg]
kapacita solanky ve voze	197185	[kg]
nájezd na 1 naložení vozidla solí	88,6364	[km]
nájezd na 1 naložení vozidla solankou	81,6818	[km]
<b>teoretický nájezd</b>	<b>81,6818</b>	<b>[km]</b>

Tab.č. 4.19 Výpočet teoretického nájezdu

Při pohledu na výsledek v tabulce č. 4.19 zjistíme, že maximální teoretický dojezd vozidla o kapacitě kapacitu 5 m<sup>3</sup> soli a 2,5 m<sup>3</sup> solanky je 81 681,8 metrů. Maximální nájezd vozidla je opět limitován kapacitou solanky. Situace je stejná jako u předchozího vozidla. Opět tedy lze provádět posyp i bez solanky, ale jak již bylo zmíněno, dojde k výraznému poklesu účinnosti posypu.

Vozidlo, použité v předchozím experimentu mělo kapacitu 4 m<sup>3</sup> a jeho teoretický nájezd činil 65,3455 metrů. Rozdíl v maximálních nájezdech činí 16 3363 m. Maximální nájezd tak již zajistí schopnost obsloužit obsluhovaný okruh na jednu nakládku vozidla posypovým materiálem.

## 5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ

V rámci kapitoly 5 bude provedeno zhodnocení výsledků dosažených experimentů. V experimentální části práce probíhaly v podmínkách SSOK dva experimenty, které byly prováděny ve vhodně zvolených segmentech komunikační sítě pod správou SSOK. Vhodností segmentů se myslí takový tvar udržované komunikační sítě, který skýtá možnosti vzniku úspor. K experimentům byly vybrány segmenty sítě udržované okruhy ST1 CV – V a PV1 CH – V.

Experimenty byly realizovány na základě teoretického plánu sestaveného v kapitole č. 3.1. Uplatněním navrženého postupu – konstrukcí tahů v neeulerovských sítích, kterým předcházelo řešení úlohy o vyhledání minimálního párování vrcholů lichého stupně bylo v případě experimentu realizovaného v podmínkách údržbového okruhu ST1 CV – V úspory v neproduktivně ujeté vzdálenosti ve výši 9 445 m na jeden údržbový okruh, v případě údržbového okruhu PV1 CH – V úspory v neproduktivně ujeté vzdálenosti ve výši 24 638 m na jeden údržbový okruh.

Dosažení úspory v případě okruhu PV1 – CH – V je podmíněno nasazováním jiného vozidla k obsluze údržbového okruhu.

Při navrženém řešení jsou splněna i všechna důležitá základní provozní omezení – jak kapacitní hledisko (kapacita obslužných vozidel pro posypový materiál není překročena), tak časové limity pro údržbu sítě pozemních komunikací stanovené platnou legislativou.

Navržená řešení lze tedy bez větších obtíží zavést do praxe.

## 6 ZÁVĚR

Předložená práce se zabývala hodnocením efektivity systému zimní údržby sítě pozemních komunikací v podmínkách Správy silnic Olomouckého kraje. Konkrétně se jednalo o problematiku prověřování efektivity obsluhy úseků vybraných částí sítí obsluhovaných komunikací.

Po obecném úvodu do problematiky popisujícím průběh procesu zimní údržby silniční sítě, zmapování všech rozhodujících podkladů potřebných pro řešení a volby vhodného řešícího aparátu (k řešení byly použity metody teorie grafů), bylo přistoupeno k realizaci dvou výpočetních experimentů, které byly provedeny ve vhodných segmentech obsluhované sítě.

Aplikací Edmondova algoritmu došlo v obou segmentech sítě pozemních komunikací k úsporám v neproduktivně ujeté vzdálenosti ve výši 9 445 m (Experiment č. 1) a 24 638 m (Experiment č. 2), to vše vztaženo vždy k jednomu údržbovému okruhu. Protože navržená řešení respektují všechna významná provozní omezení, jsou okamžitě aplikovatelná do praxe, např. pro sestavu plánu zimní údržby pro zimní sezónu 2011/12.

Nutno ovšem pamatovat i na fakt, že optimalizační výpočty byly prováděny v podmínkách neměnného dělení silniční sítě na obsluhované segmenty. Další úspory, které se skýtají, mohou vznikat vhodnějším rozdělením úseků do segmentů údržby nebo novým přiřazováním udržovaných úseků do působnosti jiných, než současných cestmistrovství.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČERNÝ, J.; KLUVÁNEK, P. *Základy matematickej teórie dopravy*: Bratislava: VEDA, 1990. 279 s. ISBN 80-224-0099-8
- [2] PALÚCH, S.; PEŠKO, Š. *Kvantitatívne metódy v logistike*: Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2006. 185 s. ISBN 80-8070-636-0
- [3] DANĚK, J.; TEICHMANN, D. *Optimalizace dopravních procesů*: Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. 191 s. ISBN 80-248-0996-6
- [4] Zákon č. 13/1997 Sb. *O pozemních komunikacích*
- [5] Vyhláška MDS č. 104/1997 Sb.
- [6] Posypové materiály [online]. 2001 [cit. 12.12.2010]. Dostupné na WWW: <<http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/posypove-materialy-pro-zimni-udrzbu-komunikaci-v-cr-a-v-zemich>>
- [7] Meteorologické systémy [online]. 2010 [cit. 10.1.2011]. Dostupné na WWW:<<http://www.cross.cz/cs/meteorologicke-systemy/mdss.html>>
- [7] Správa silnic Olomouckého kraje [online]. 2010 [cit. 1.12.2010]. Dostupné na WWW<[www.ssok.cz](http://www.ssok.cz)>

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Matice vzdáleností okruhu ST2 CH-V
Příloha B	Text modelu prvního experimentu
Příloha C	Matice vzdáleností okruhu PV1 CH-V
Příloha D	Text modelu druhého experimentu